

Aus dem Institut
für Strahlenbiologie und medizinische Isotopenanwendung der
Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. med., rer. nat. E. H. Gaul

**Meßgeometrie
eines shadow-shield-Ganzkörperzählers
Phantommessungen für drei γ -Energien
120 keV (^{57}Co)
320 keV (^{51}Cr) und
1100 keV, 1300 keV (^{59}Fe)**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Bärbel Grölz, geb. Baack
aus Kassel

Marburg 1973

1974

Druck: Foto-Druck Lenz, Gießen

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut
für Strahlenbiologie und medizinische Isotopenanwendung der
Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. med., rer. nat. E. H. Graul

**Meßgeometrie
eines shadow-shield-Ganzkörperzählers
Phantommessungen für drei γ -Energien
120 keV (^{57}Co)
320 keV (^{51}Cr) und
1100 keV, 1300 keV (^{59}Fe)**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität zu Marburg

vorgelegt von

Bärbel Grölz, geb. Baack
aus Kassel

Marburg 1973

Aus dem Institut
für Strahlenbiologie und medizinische Isotopphysik der
Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. med. rer. nat. E. H. Giesel

Meßergebnisse
eines shadow-shield-Ganzkörperbilders
Phantommessungen für drei γ -Energien
130 keV (^{57}Co)
320 keV (^{137}Cs) und
1100 keV, 1300 keV (^{60}Co)

INANGURAL-DISSEKTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität zu Marburg



Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am 5. Juli 1974

gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. med. H. Oepen
Referent: Prof. Dr. med. H. Kuni
Correferent: Prof. Dr. med. E. Schaumlöffel

Inhaltsverzeichnis	Seite
Einleitung	1
Apparatur	2
Methodik	4
A Messung der Kollimatorcharakteristik	4
1) Fokussierender Schlitzkollimator	4
2) Weitwinkelkollimator	5
B Ausmessung der Geometrie mit Wassertankphantom	5
1) Einfluß unterschiedlicher Wassertiefe bei konstantem Abstand Quelle - Kristall für ^{51}Cr	5
2) Aufnahme der Spektren von ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe in Abhängigkeit von verschiedener Wassertiefe bei unterschiedlichem Quellenabstand vom Kristall	5
3) Direkte und indirekte Bestimmung der effektiven Zählzeit in Abhängigkeit vom Abstand Quelle - Kristall	8
4) Abhängigkeit der Meßausbeute von der Randlage der Quelle im Phantom	9
a) Einfluß durch Abnahme des Streumediums bei ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe	
b) Einfluß der Endstellung der Liege	
Ergebnisse	10
A Kollimatorcharakteristik	10
B Geometrie	18
C Zählstatistik	57
Diskussion	58
Zusammenfassung	65
Literaturverzeichnis	68

Einleitung

Die Ganzkörpermessung findet zunehmend Anwendung in der klinischen und experimentellen Nuklearmedizin. Dabei steht nicht mehr so sehr das Gebot maximaler Empfindlichkeit im Vordergrund wie beim Einsatz dieser Geräte im Strahlenschutz, sondern aus Kostengründen können und müssen hier Kompromisse geschlossen werden.

Das hatte zur Entwicklung der sogenannten shadow - shield - Ganzkörperzähler geführt. Die Abschirmung ist auf eine Schattenabschirmung des Kristallgesichtsfeldes reduziert. Der Patient wird auf einer beweglichen Liege durch dieses Gesichtsfeld gezogen. Bei dem Einsatz dieses Gerätetyps in der Medizin muß aber noch mehr als beim Strahlenschutz auf eine optimale Geometrie für Ganzkörpermessungen geachtet werden. Deshalb wurden nach der erstmaligen Installation eines shadow - shield - Ganzkörperzählers mit den vorliegenden Maßen eine intensive Untersuchung der Meßgeometrie erforderlich.

Apparatur

Der hier verwendete Ganzkörperzähler der Firma Berthold hat einen festmontierten Weitwinkelkollimator. Außerdem kann ein fokussierender Schlitzkollimator eingesetzt werden.

Maße: siehe Abbildung 1

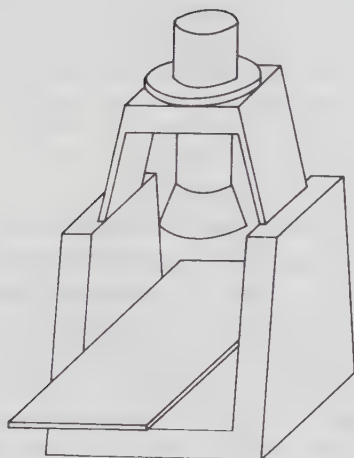
Größe des NaJ (Tl)-Kristalls: 3 x 4 Zoll

Abstand Liege - Kristall von 37 bis 49 stufenlos einstellbar

Die Liege kann je nach Wahl mit einer Geschwindigkeit von 3,75; 7,5; 15; 37,5; 75; 150 cm/min. vorgeschoben werden.

Die Impulse werden zur Registrierung einem 400-Kanal Analysator der Firma Laben zugeführt. Das Gerät wurde so geeicht, daß jeder Kanal einem Fenster von 10keV Breite entspricht. Während des Meßvorgangs wird die Zahl der ankommenden Impulse in den entsprechenden Kanälen gespeichert. Die Meßzeit kann vorgewählt werden. Bei der Wahl von "live time" im Gegensatz zu "real time" (normale Uhrzeit) wird die bei der Analyse entstehende Totzeit berücksichtigt. Nach Beendigung der Messung kann der Inhalt des Speichers und damit das aufgenommene Spektrum auf einem Kathodenstrahloszillographen abgebildet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, die gespeicherten Daten über einen Fernschreiber auszudrucken.

Will man ein Profil der Scanstrecke aufnehmen, so kann der 400-Kanal Analysator auch als Multiscaler verwendet werden. Dabei werden alle Impulse eines vorgewählten Energiebereichs in einen Kanal gezählt, bis das Signal zum Fortschalten auf den nächsten Kanal kommt. Dieser Adressenfortschaltungsimpuls wird von der Scansteuerung des Ganzkörperzählers erteilt und zwar wahlweise nach jeweils 0,5; 1; 2; 5 oder 10 cm der durchlaufenen Scanstrecke.



Maßstab 0 10 50 cm

Abbildung 1 : Ganzkörperzähler mit Weitwinkelkollimator

Methodik

A) Messung der Kollimatorcharakteristik

Zur Messung der Charakteristik der beiden Kollimatoren wurde das Gerät in der zuletzt beschriebenen Arbeitsweise eingesetzt. Als Quelle wurde ein Präparat von ^{51}Cr mit einem Durchmesser von 2 cm und einer Höhe von 0,5 cm benutzt. Es wurden die Impulse in einem Energiebereich von 270 bis 360 keV gezählt.

1) Fokussierender Schlitzkollimator

a) In der ersten Versuchsreihe wurde untersucht, wie sich die Zählrate verändert, wenn das Präparat in der Vorschubrichtung der Liege unter dem Kristall vorbeibewegt wird. Die Profile wurden bei unterschiedlichem Abstand von Quelle und Kristall aufgenommen. Zu Beginn der Messung bestand ein kürzester Abstand Quelle - Kristall von 21 cm der zunächst um jeweils einen Zentimeter bis auf 29 cm, dann um je 5 cm bis auf 49 cm vergrößert wurde. In jeder Höhe wurde eine Scanstrecke von 15 cm durchfahren, die durch die Senkrechte durch den Kristallmittelpunkt halbiert wird. Die Vorschubgeschwindigkeit betrug 15 cm in der Minute, der Markenabstand 0,5 cm.

b) In einer 2. Versuchsreihe wurde die Veränderung der Zählrate bei Verschieben des Präparates entlang der Schmalseite der Liege ermittelt, ebenfalls bei unterschiedlichem Abstand Quelle - Kristall. Dazu wurde ein Koordinatensystem auf der Liege angebracht, dessen Mittelpunkt von der Senkrechten durch den Kristallmittelpunkt geschnitten wird. Das Präparat wurde entlang der genannten Richtung in Abständen von je einem Zentimeter für 0,2 min. gemessen. Die Abstände Quelle - Kristall betrugen 23; 25; 29; 34; 39; 44; 49 cm.

2) Weitwinkelkollimator

Die Charakteristik des Weitwinkelkollimators wurde auf die gleiche Weise untersucht.

Bei der zu 1a analogen Versuchsreihe betrug der Abstand Quelle - Kristall zunächst 15 cm und wurde dann um jeweils 5 cm bis auf 45 cm vergrößert. Während der ersten beiden Messungen wurde eine Scanstrecke von 15 cm, bei den folgenden eine Strecke von 40 cm durchfahren.

Zur Versuchsreihe b wurden Abstände Quelle - Kristall von 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm gewählt.

B) Ausmessungen der Geometrie mit Wassertankphantom

Alle folgenden Versuche wurden mit dem Weitwinkelkollimator durchgeführt.

1) Einfluß unterschiedlicher Wassertiefe bei konstantem Abstand Quelle - Kristall für ^{51}Cr

Es wurde ein Fläschchen von 3 cm Höhe und 1,3 cm Durchmesser, das mit einer Lösung von ^{51}Cr gefüllt war, 5 cm über den Mittelpunkt des Bodens eines zylindrischen Plastikeimers gehängt, dessen Durchmesser 20 cm betrug. Der Abstand Quelle - Kristall maß 35 cm. Zu Beginn der Messungen war der Eimer bis zu einer Höhe von 8 cm mit Wasser gefüllt, dann wurde die Wassertiefe um jeweils einen Zentimeter bis auf 28 cm vergrößert. Bei jeder Wassertiefe wurde während einer Minute das Spektrum der Quelle aufgenommen und anschließend daraus die Zählraten in den Energiebereichen 100 - 360 keV, 100 - 250 keV, 260 - 360 KeV durch Integration ermittelt

2) Aufnahme der γ -Spektren von ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe in Abhängigkeit von verschiedener Wassertiefe bei unterschiedlichem Quellenabstand vom Kristall.

Für die folgenden Versuche diente ein mit Wasser gefüllter, zylindrischer Plastikeimer mit einem

Durchmesser von 23 cm als Streukörper. Abstand Boden des Plastikeimers - Kristall: 47 cm. Als Quellen wurden nacheinander benutzt:

1. ein Glasfläschchen von 3 cm Höhe und einem Durchmesser von 1,3 cm, das mit einer Lösung von ^{51}Cr gefüllt war,
2. ein gleichgroßes Fläschchen mit einer Lösung von ^{59}Fe und
3. ein Präparat von ^{57}Co , das in einen Plastikblock von 2 cm Durchmesser und 0,5 cm Höhe eingeschmolzen war.

Zu Beginn einer jeden Versuchsreihe war der Plastikeimer bis zu einer Höhe von 5 cm mit Wasser gefüllt, dann wurde die Wassertiefe um je 2 cm bis auf 23 cm vergrößert. Die Quellen wurden über den Mittelpunkt der Grundfläche gehängt. Bei jedem Wasservolumen wurden die Quellen zunächst 1,5 cm über dem Boden gemessen. Sie wurden anschließend um je einen Zentimeter angehoben, bis sich ihr Schwerpunkt 1,5 cm unter der Wasseroberfläche befand.

Es wurden Spektren aufgenommen,

1. während einer Minute gemessen in live time, in der die Quelle unter dem Kristallmittelpunkt stand
2. bei Durchfahren der Scanstrecke von 185 cm mit einer Geschwindigkeit von 150 cm/min. Anschließend wurden durch Integration die Zählraten in folgenden Energiebereichen ermittelt:

^{57}Co	90 - 140 keV	Photopeak
	30 - 80 keV	Compton
	30 - 150 keV	Gesamtzählrate
	30 - 100 keV	
^{51}Cr	270 - 360 keV	Photopeak
	100 - 260 keV	Compton
	100 - 360 keV	Gesamtzählrate
	150 - 350 keV	
^{59}Fe	1250 - 1400 keV	Photopeak ₂
	1050 - 1400 keV	Photopeak ₁₊₂

50 - 1000 keV	Compton
50 - 1400 keV	Gesamtzählrate
300 - 1390 keV	

Die Meßergebnisse wurden für jeden Energiebereich gesondert folgendermaßen ausgewertet:

a) Es wurde die Relation des Minimums der Impuls-
ausbeute zu ihrem Maximum innerhalb eines jeden
Wasservolumens berechnet, indem die minimale Impuls-
zahl in Prozenten der maximalen Impulszahl ausge-
drückt wurde.

b) Zur Imitation einer Versuchsanordnung mit je
einem Kristall über und unter der Liege wurde aus
korrespondierenden Meßergebnissen (Abstand der Quelle
vom Boden = Eintauchtiefe der Quelle)

1. das arithmetische Mittel ($c_1 = \frac{a+b}{2}$) und

2. das geometrische Mittel ($c_2 = \sqrt{a \cdot b}$) gebildet.

Für ^{137}Cs wurde außerdem das Mittel der Gesamtzählrate
aus der Summe des arithmetischen Mittels im Compton-
bereich und des geometrischen Mittels im Photopeak-
bereich gebildet. Es wurde wieder die Relation der
extremen Zählraten zueinander innerhalb jeder Wasser-
tiefe bestimmt.

c) Es wurde versucht, für jedes der 3 Radionuklide
den Energiebereich herauszufinden, in dem diese
Differenz möglichst gering ist, wenn die Quelle
gescannt wird.

Zunächst wurde jedes Wasservolumen gesondert be-
trachtet. Aus korrespondierenden Spektren wurde
punktweise das arithmetische Mittel gebildet. Aus
sämtlichen so errechneten Spektren eines Wasser-
volumens wurde das mittlere Spektrum berechnet. An-
schließend wurde punktweise die Differenz der zunächst
errechneten Spektren zu diesem mittleren Spektrum be-
stimmt. Es wurde jetzt der Energiebereich herausge-
sucht, in dem die Gesamtdifferenz der am stärksten
vom Mittelwert abweichenden Spektren ein Minimum ist.

Nachdem für jedes Wasservolumen der im Sinne der Fragestellung günstigste Meßbereich ermittelt war, wurde für alle übrigen Wasservolumina in diesen errechneten Energiebereichen die Relation der extremen Werte bestimmt. Als der günstigste Meßbereich für das jeweilige Radionuklid wurde der gewählt, in dem sich diese Abweichung bei allen Wassertiefen möglichst niedrig hält.

Alle folgenden Untersuchungen wurden auch für diesen Energiebereich durchgeführt.

d) Es wurde auf die Impulszahl geschlossen, die zu erwarten ist, wenn ein zylindrisches Gefäß mit einem wachsenden Volumen einer Lösung von konstanter spezifischer Konzentration gefüllt wird.

Die Zählrate einer bestimmten Bintauchtiefe der Quelle ist repräsentativ für die Zählrate des entsprechenden Querschnitts, so daß durch Addition der Einzelwerte die Gesamtimpulszahl errechnet werden kann.

e) Für jedes Wasservolumen wurde die durchschnittliche Impulszahl ermittelt.

3) Direkte und indirekte Bestimmung der effektiven Zählzeit in Abhängigkeit vom Abstand Quelle - Kristall

a) Die Meßergebnisse des unter 2 beschriebenen Versuchs wurden dazu benutzt, indirekt die Zeit zu bestimmen, in der die Quelle effektiv gezählt wird, wenn sie die Scanstrecke durchfährt. Es wurde aus der Beziehung
$$\frac{\text{effektive Zählzeit}}{\text{Impulse gescannt}} = \frac{1 \text{ min.}}{\text{Impulse stehend}}$$
 die effektive Zählzeit für ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe in den angegebenen Energiebereichen berechnet.

b) Außerdem wurde in einem weiteren Versuch für ^{51}Cr die effektive Zählzeit direkt bestimmt.

Der Plastikeimer war bis zu einer Höhe von 10 cm mit Wasser gefüllt. Das Präparat tauchte 9 cm ein. Der Abstand Quelle - Kristall betrug nacheinander 50 cm, 45 cm, 40 cm, 35 cm. Es wurden in den Energie-

bereichen 100 - 260 keV, 270 - 360 keV, 100 - 360 keV Profile gescannt. Die Liege wurde mit der Geschwindigkeit 150 cm/min. vorgeschoben. Markenabstand: 2 cm.

Aus der Halbwertsbreite der aufgenommenen Kurven kann die effektive Zählzeit nach $t = \frac{S}{V}$ bestimmt werden.

4) Abhängigkeit der Meßausbeute von der Randlage der Quelle im Phantom.

a) Einfluß durch Abnahme des Streumediums bei ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe .

In der Mitte der Liege stand in Längsrichtung ein praktisch quaderförmiges Plastikgefäß, das 76 cm lang und 13 cm breit war. Es war bis zu einer Höhe von 10 cm mit Wasser gefüllt. Die Präparate tauchten 7 cm in das Wasser ein. Ihr Abstand vom Ende der Kiste betrug nacheinander 35 cm, 30 cm, 25 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm, 8 cm, 6 cm, 4 cm, 2 cm, 1 cm. Während des Durchlaufens der Scanstrecke mit der Geschwindigkeit 75 cm/min. wurden Spektren aufgenommen. Nachträglich wurden durch Integration die Zählraten in den unter 2 angegebenen Energiebereichen bestimmt.

b) Einfluß der Einstellung der Liege

In demselben Streukörper wie unter a) war das ^{51}Cr - Präparat 5 cm vom Kopfende entfernt angebracht. Eintauchtiefe 6 cm. Der Abstand Kopfende der Kiste - Kopfende der Liege betrug zunächst 55 cm und wurde dann um jeweils 5 cm verringert bis der Streukörper am Liegendenende stand. Bei jedem Abstand wurden in den Energiebereichen 100 - 260 keV, 100 - 360 keV, 270 - 360 keV Profile gescannt. Vorschubgeschwindigkeit 37,5 cm/min., Markenabstand 2 cm.

Ergebnisse

A Messung der Kollimatorcharakteristik

1) Fokussierender Schlitzkollimator

a) Die Zählraten bei Verschieben des Präparats in der Längsrichtung der Liege sind in Abbildung 2 dargestellt. Zur besseren Übersicht wird in dem Abstand 21 bis 29 cm vom Kristall nur jede 2. Kurve aufgezeichnet. Auf der Ordinate werden die Impulszahlen abgetragen; die Abszisse zeigt den jeweils kürzesten Abstand von Quelle und Kristall an. Die Abszisse wird von Achsen geschnitten, die die Bewegungsrichtung des Präparats darstellen. Dabei entspricht deren Schnittpunkt mit der x-Achse der senkrechten Entfernung von Quelle und Kristall. Die Strich- Punkt- Linien geben die Halbwertsbreiten der aufgenommenen Kurven an. Sie sind zusammen mit den über die gesamte Scanstrecke integrierten Impulsen in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Abstand vom Kristall (cm)	Halbwertsbreite (cm)	Gesamtzählrate
21	2,5	63 873
22	2,4	62 193
23	2,2	58 834
24	2,3	56 539
25	2,4	53 231
26	2,4	51 293
27	2,5	48 512
28	2,5	46 504
29	2,6	46 142
34	4,3	38 538
39	6,0	33 724
44	7,2	29 873
49	9,3	26 488

Aus den ermittelten Halbwertsbreiten ergibt sich, daß der Brennpunkt des Kollimators 23 cm vom Kristall = 10 cm vom Kollimator entfernt liegt.

Abbildung 3 stellt die Ebene dar, in der die Messungen durchgeführt wurden. Die eingezeichneten Linien entsprechen den jeweils angegebenen Zählraten. In dieser Zeichnung wird sichtbar, daß die ankommenden Strahlen in einem Abstand von etwa 22 cm bis 26 cm vom Kristall (= 9 cm bis 13 cm Abstand vom Kollimator) gebündelt werden.

b) Die Abbildungen 4 und 5 stellen die Zählraten bei Verschieben des Präparats senkrecht zur Vorschubrichtung der Liege dar. Diese beiden Zeichnungen sind analog zu Abbildung 2 und 3 angelegt. Es ist zu beachten, daß die Einheit der Liegenbreite in Abbildung 4 5 cm beträgt.

Die folgende Tabelle enthält die Halbwertsbreiten und die Integrale über 46 cm der aufgezeichneten Kurven.

Abb. 2 - 5 : Charakteristik des fokussierenden Schlitzkollimators für eine ^{51}Cr - Punktquelle

Abb. 2 : Impulsausbeute bei Verschiebung des Präparats in der Liegenlängsachse (quer zu den Kollimatorschlitz) in verschiedenen Abständen vom Kristall

Abb. 3 : wie Abb. 2, jedoch Darstellung der Isosensibilitätslinien, bzw. -bereiche (schwarz ausgefüllt)

Abb. 4 : Impulsausbeute bei Verschiebung des Präparats in der Querachse der Liege (parallel zu den Kollimatorschlitz) in verschiedenen Abständen vom Kristall

Abb. 5 : wie Abb. 4, jedoch Darstellung der Isosensibilitätslinien, bzw. -bereiche (schwarz ausgefüllt)

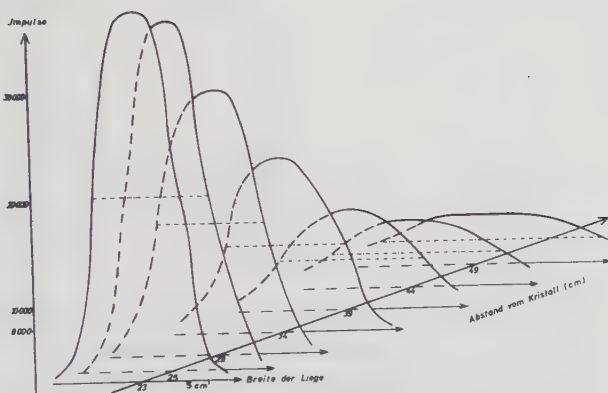


Abbildung 4

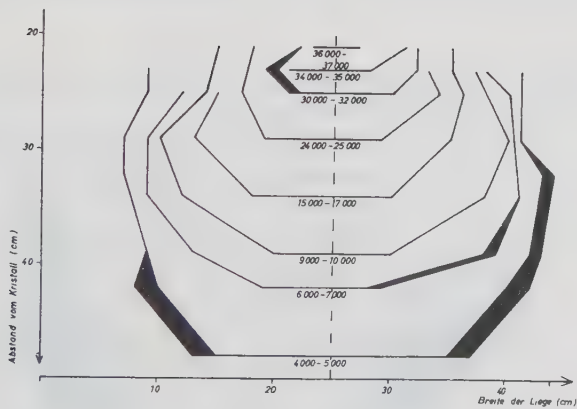


Abbildung 5

Abstand vom Kristall (cm)	Halbwertsbreite (cm)	Gesamtzählrate
23	19,5	719 162
25	19,5	700 049
29	24,5	639 410
34	27,5	473 125
39	33,5	300 688
44	40,0	225 368
49	52,5	177 203

In Abbildung 5 wird ebenfalls eine fokussierende Wirkung des Kollimators deutlich. Ferner ist ersichtlich, daß mit zunehmendem Abstand vom Kristall die Homogenität des Feldes zunimmt.

2) Weitwinkelkollimator

Die Abbildungen 6-9 geben die zu den Abbildungen 2-5 analogen Ergebnisse für den Weitwinkelkollimator wider.

Abb. 6-9 : Charakteristik des Weitwinkelkollimators für eine ⁵¹Cr - Punktquelle

Abb. 6 : Impulsausbeute bei Verschiebung des Präparats in der Liegenlängsachse in verschiedenen Abständen vom Kristall

Abb. 7 : wie Abb. 6, jedoch Darstellung der Isosensibilitätslinien, bzw. - bereiche (schwarz ausgefüllt)

Abb. 8 : Impulsausbeute bei Verschiebung des Präparats in der Querachse der Liege in verschiedenen Abständen vom Kristall

Abb. 9 : wie Abb. 8, jedoch Darstellung der Isosensibilitätslinien, bzw. - bereiche (schwarz ausgefüllt)

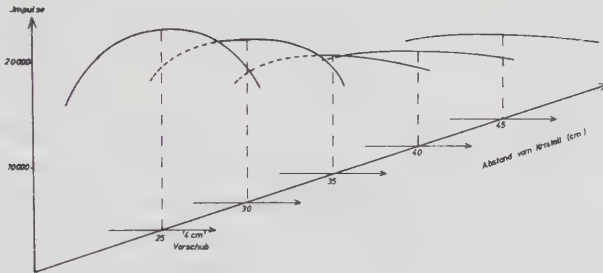


Abbildung 6

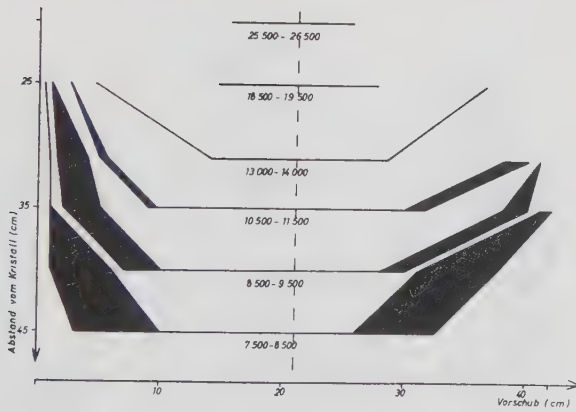


Abbildung 7

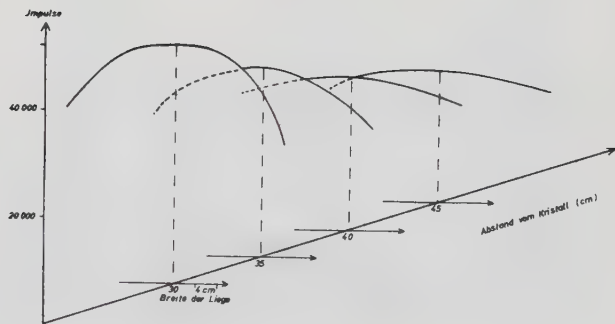


Abbildung 8

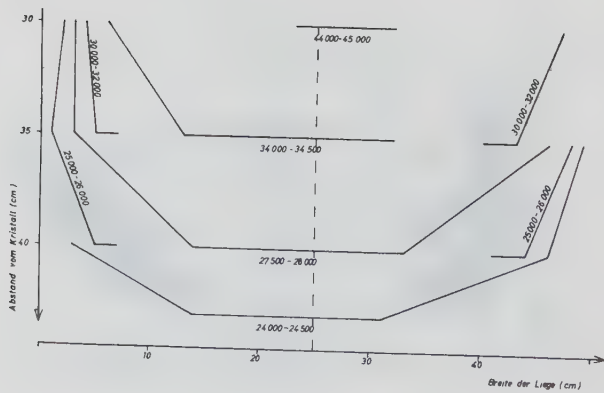


Abbildung 9

Die folgende Tabelle enthält die Gesamtzählraten.

Abstand vom Kristall (cm)	Gesamtzählrate	
	pro 15 cm Vorschub	pro 46cm Breite
25	545 155	
30	419 101	1 844 140
35	319 255	1 490 653
40	250 155	1 233 767
45	230 866	1 078 721

Insgesamt sind die Meßergebnisse einheitlicher als bei dem Schlitzkollimator. Der Abfall der Zählrate an den Rändern des Feldes ist wesentlich geringer und nimmt mit zunehmendem Abstand vom Kristall deutlich ab. Auch die Differenz der Gesamtzählrate ist bei dem Weitwinkelkollimator geringer als bei dem fokussierenden Schlitzkollimator.

B Ausmessung der Geometrie mit Wassertankphantom

1) Einfluß unterschiedlicher Wassertiefe bei konstantem Abstand Quelle - Kristall für ^{51}Cr .

In Abbildung 10 ist die ermittelte Impulszahl in Abhängigkeit von der Wassertiefe dargestellt.

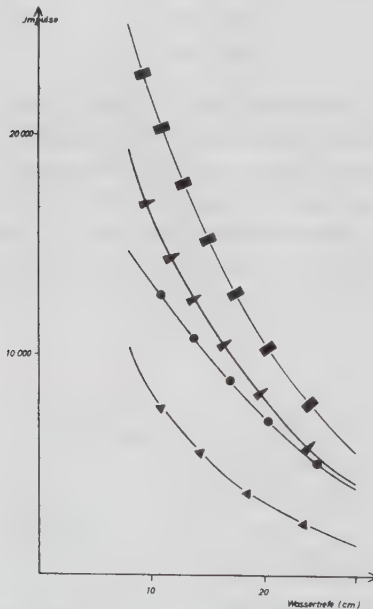


Abb. 10 : Abhängigkeit der Impulsausbeute bei Messung einer ^{51}Cr - Punktquelle von der Wassertiefendicke zwischen ihr und dem Kristall (Abstand Quelle - Kristall (in Kristallmittelachse) = 35 cm, Quelle über 5 cm Wassertiefe) in verschiedenen Energie-Bereichen.



Die Symbole kennzeichnen lediglich die Verbindungslinie der zahlreichen Meßpunkte, entsprechen ihnen aber nicht.

Es wird sichtbar, daß die Abweichung der Kurven von einer Geraden im Photopeakbereich am größten und im Comptonbereich am geringsten ist.

2) Aufnahme der γ -Spektren von ^{57}Co , ^{51}Cr und ^{59}Fe in Abhängigkeit von verschiedener Wassertiefe bei unterschiedlichem Quellenabstand vom Kristall.

a) Die Meßwerte dieser Versuchsreihe sind in den Abbildungen 11 bis 23 dargestellt. Im Einzelnen enthalten die Zeichnungen die Versuchsergebnisse in folgenden Energiebereichen:

^{57}Co	Abbildung 11: Photopeakbereich
	Abbildung 12: Comptonbereich
	Abbildung 13: Gesamtzählrate
	Abbildung 14: 30 - 100 keV
^{51}Cr	Abbildung 15: Photopeakbereich
	Abbildung 16: Comptonbereich
	Abbildung 17: Gesamtzählrate
	Abbildung 18: 150 - 350 keV
^{59}Fe	Abbildung 19: Photopeakbereich ₂
	Abbildung 20: Photopeakbereich ₁₊₂
	Abbildung 21: Comptonbereich
	Abbildung 22: Gesamtzählrate
	Abbildung 23: 300 - 1390 keV

Abb. 11-14 : Abhängigkeit der Impulsausbeute einer ^{57}Co - Punktquelle von ihrem Abstand zum Boden eines Wasserphantoms bei unterschiedlicher Wasserschichtdicke über dem Phantomboden in verschiedenen Energiebereichen.

a) Quelle stationär b) Quelle gescannt

Abb. 11 : Meßbereich 90 - 140 keV

Abb. 12 : Meßbereich 30 - 80 keV

Abb. 13 : Meßbereich 30 - 150 keV

Abb. 14 : Meßbereich 30 - 100 keV

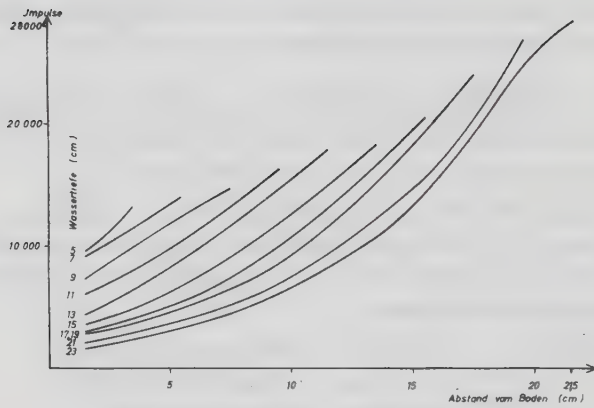


Abbildung 11 a

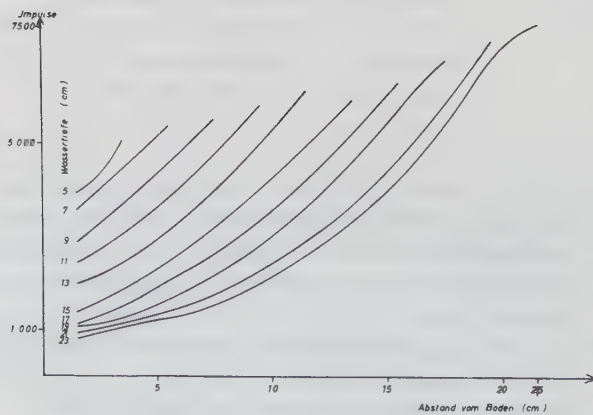


Abbildung 11 b

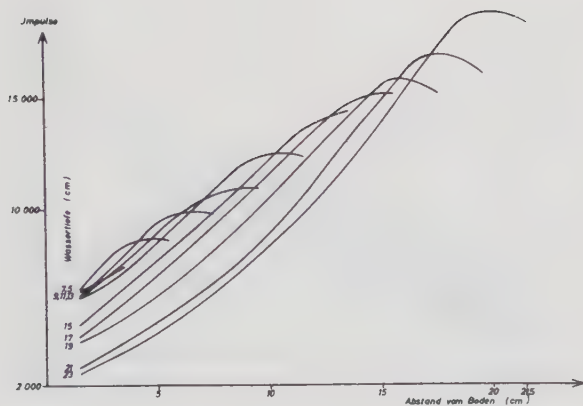


Abbildung 12 a

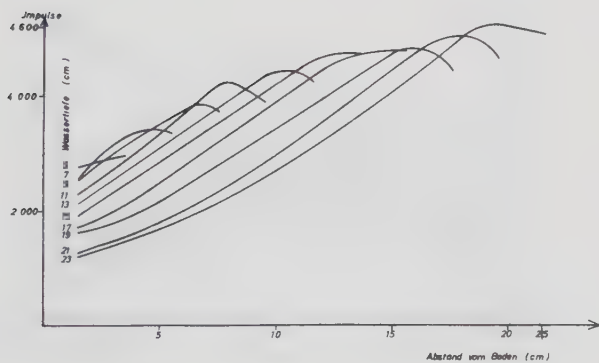


Abbildung 12 b

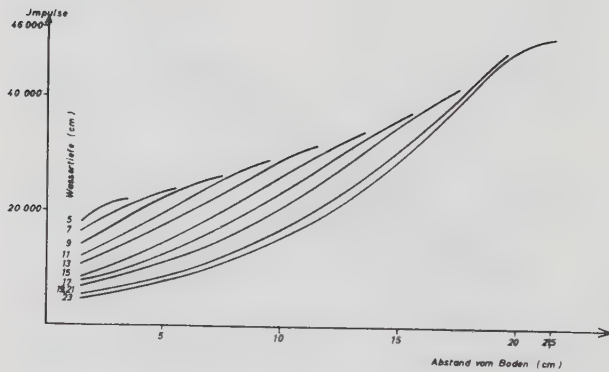


Abbildung 13 a

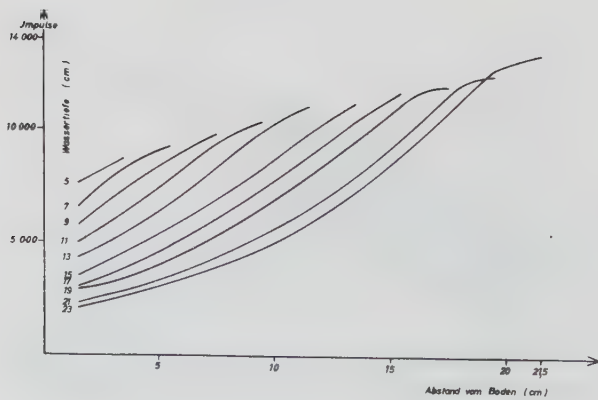


Abbildung 13 b

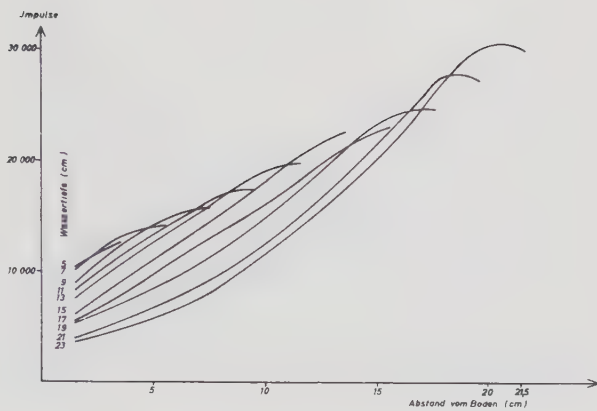


Abbildung 14 a

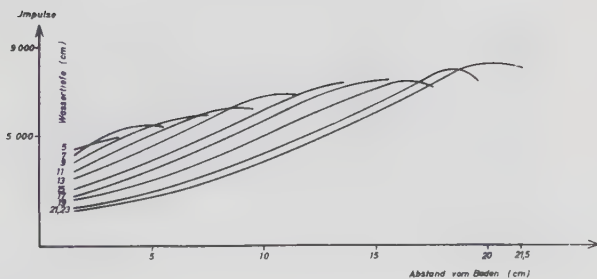


Abbildung 14 b

Abb. 15-18 : Abhängigkeit der Impulsausbeute einer ^{51}Cr -Punktquelle von ihrem Abstand zum Boden eines Wasserphantoms bei unterschiedlicher Wasserschichtdicke über dem Phantomboden in verschiedenen Energiebereichen.

a) Quelle stationär b) Quelle gescannt

Abb. 15 : Meßbereich 270 - 360 keV

Abb. 16 : Meßbereich 100 - 260 keV

Abb. 17 : Meßbereich 100 - 360 keV

Abb. 18 : Meßbereich 150 - 360 keV

In Abbildung 17a ist der Koordinatenanfangspunkt nicht mit dem Nullpunkt identisch.

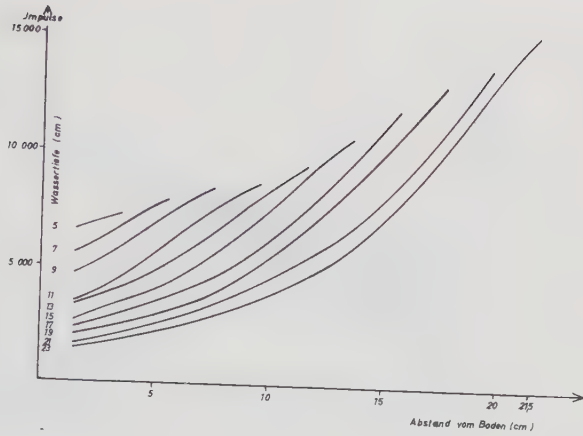


Abbildung 15 a

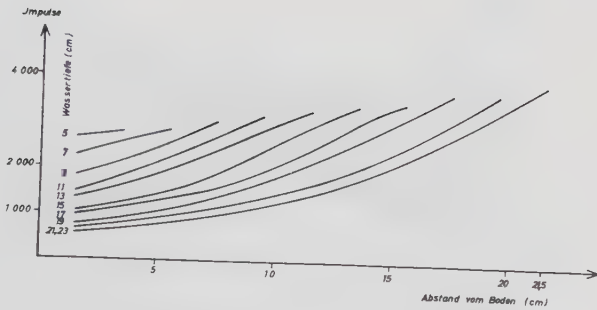


Abbildung 15 b

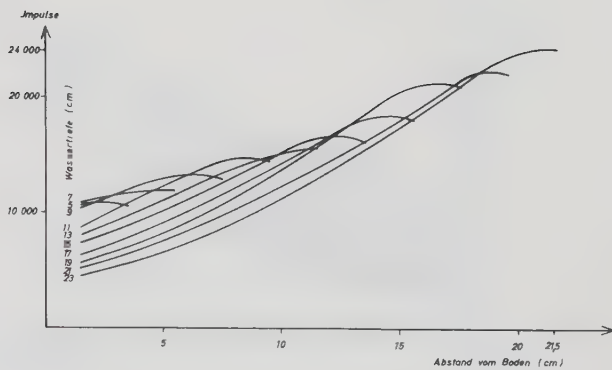


Abbildung 16 a

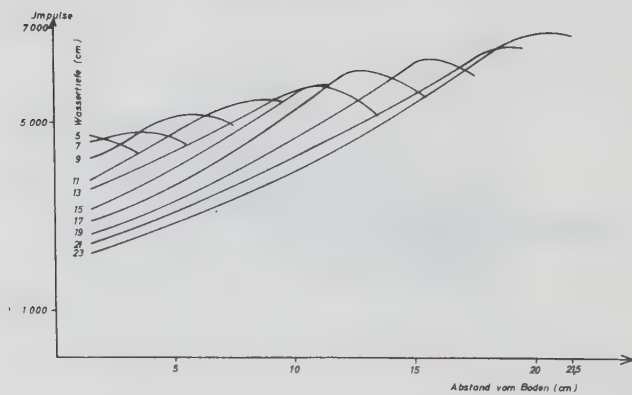


Abbildung 16 b

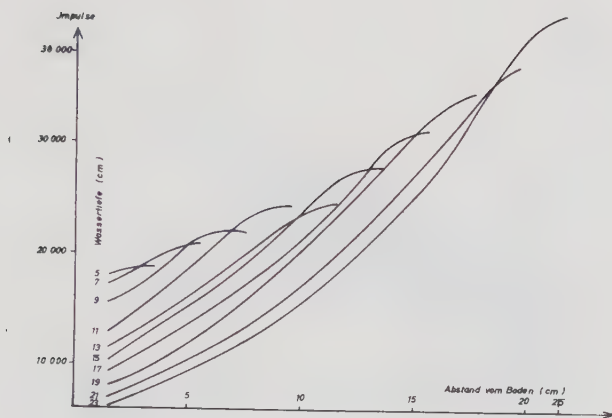


Abbildung 17 a

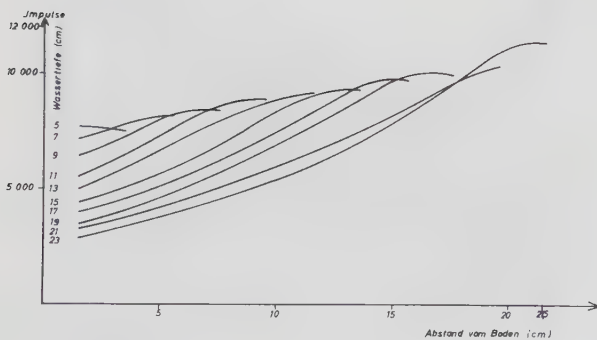


Abbildung 17 b

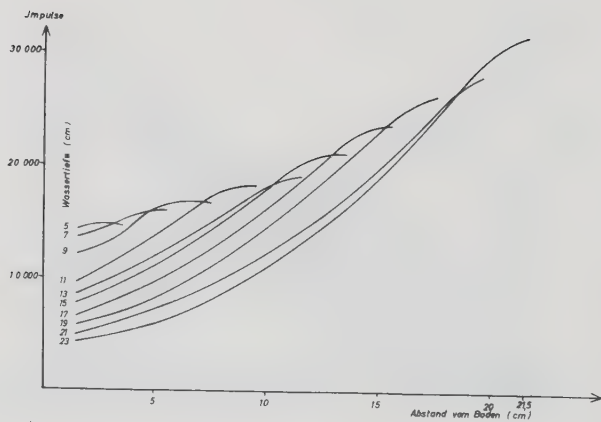


Abbildung 18 a

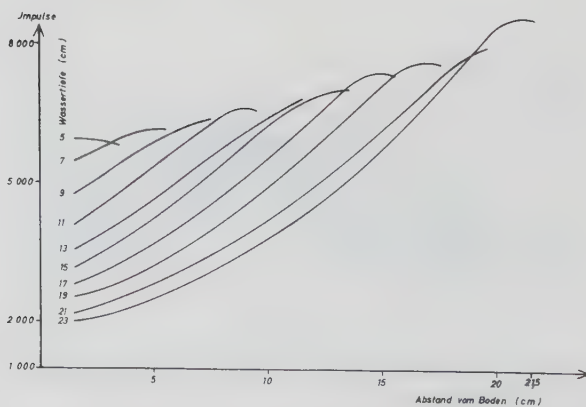


Abbildung 18 b

Abb. 19-23 : Abhängigkeit der Impulsausbeute einer ^{59}Fe -Punktquelle von ihrem Abstand zum Boden eines Wasserphantoms bei unterschiedlicher Wasserschichtdicke über dem Phantomboden in verschiedenen Energiebereichen.

a) Quelle stationär b) Quelle gescannt

Abb. 19 : Meßbereich 1250 - 1400 keV

Abb. 20 : Meßbereich 1050 - 1400 keV

Abb. 21 : Meßbereich 50 - 1000 keV

Abb. 22 : Meßbereich 50 - 1400 keV

Abb. 23 : Meßbereich 30 - 1390 keV

In Abbildung 23b ist der Koordinatenanfangspunkt nicht mit dem Nullpunkt identisch.

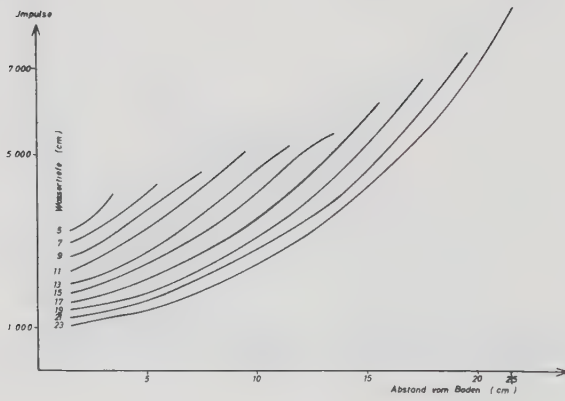


Abbildung 19 a

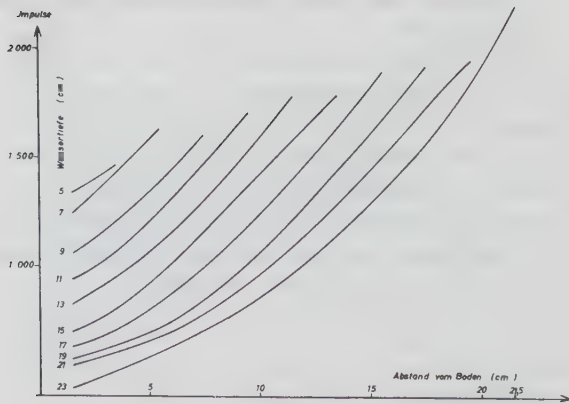


Abbildung 19 b

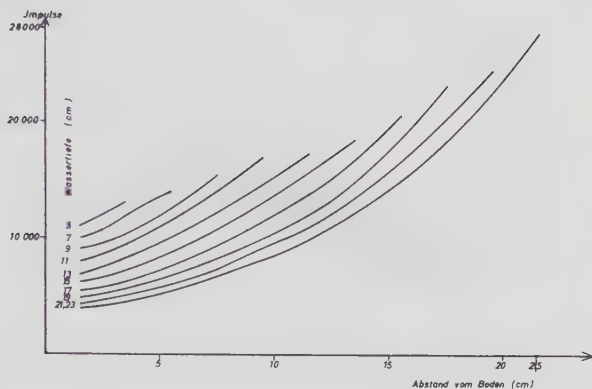


Abbildung 20 a

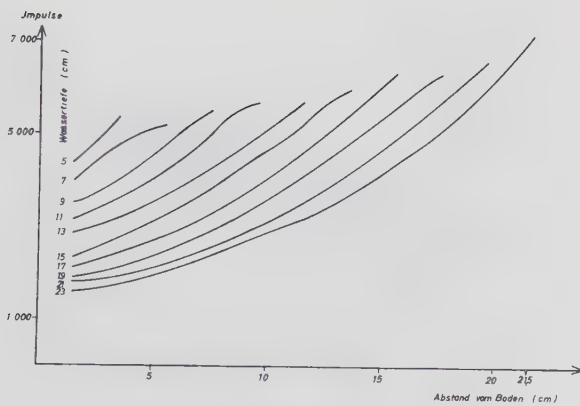


Abbildung 20 b

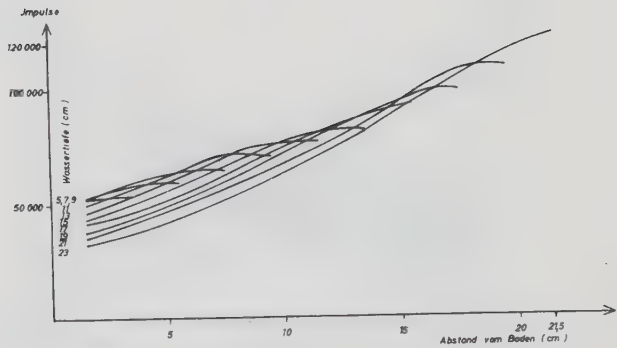


Abbildung 21 a

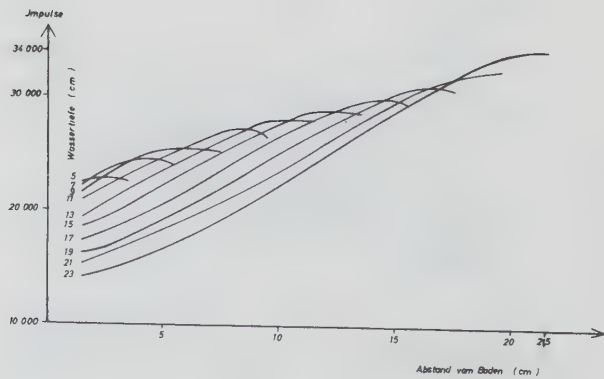


Abbildung 21 b

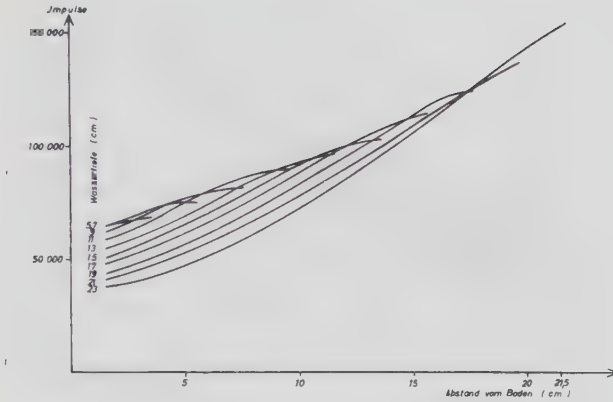


Abbildung 22 a

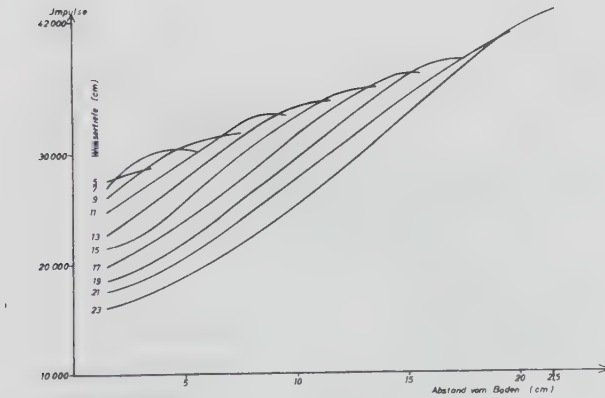


Abbildung 22 b

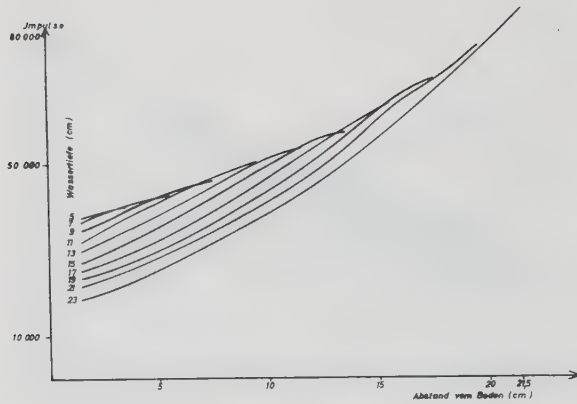


Abbildung 23a

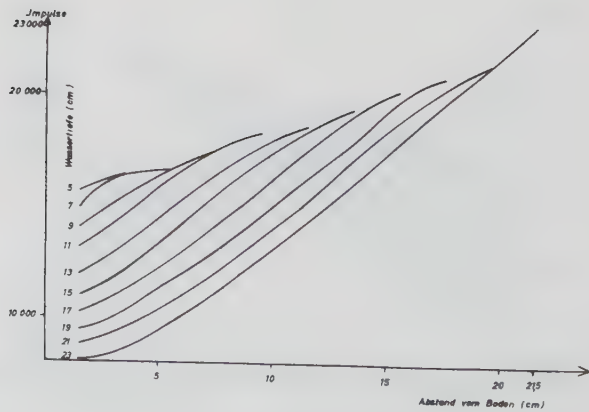


Abbildung 23b

Zeichnung a gibt die Werte wider, die bei stehender Quelle ermittelt wurden und Zeichnung b die Werte bei gescannter Quelle. Die einzelnen Kurven stellen für die jeweils angegebene Wassertiefe die Impulszahlen in Abhängigkeit vom Abstand der Quelle vom Boden dar.

b) Im Folgenden wird die Differenz der extremen Zählraten innerhalb jeder Wassertiefe und jedes Energiebereichs dargestellt. Die jeweils höchste Impulszahl ist gleich 100 % gesetzt. Abbildung 24 enthält die Ergebnisse für ^{57}Co , Abbildung 25 für ^{51}Cr , Abbildung 26 die für ^{59}Fe . Zeichnung a gibt die Werte für die stehend gemessene Quelle und Zeichnung b die für die gescannte Quelle wider.

Die Symbole haben folgende Bedeutung : 1. gleichseitige Dreiecke: Photopeakbereich; 2. Kreise: Comptonbereich; 3. Rechtecke: Gesamtzählrate; 4. gleichschenklige Dreiecke: der unter d ermittelte Energiebereich. Fehlt die Kurve 4, so ist sie mit Kurve 3 fast identisch, so daß sie aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen wird.

Für die drei untersuchten Radionuklide ist die relative Differenz der Impulszahlen im Photopeakbereich am größten und im Comptonbereich am kleinsten. Die Differenz wird geringer, wenn die Quelle gescannt wird. Außerdem ergibt sich beim Vergleich der drei Abbildungen, daß mit zunehmender Energie der emittierten Strahlung die Differenz der extremen Zählraten abnimmt.

c) Die Abbildungen 27 bis 29 enthalten die relative Differenz der extremen Zählraten nach Bildung der Mittelwerte korrespondierender Meßwerte. Abbildung 27 : ^{57}Co , Abbildung 28 : ^{51}Cr , Abbildung 29 : ^{59}Fe . Zeichnung a enthält die Ergebnisse für die stehend gemessene Quelle und Zeichnung b die für die gescannte Quelle. Die Symbole haben dieselbe Bedeutung wie in den drei vorherigen Abbildungen. Ausgefüllte Symbole

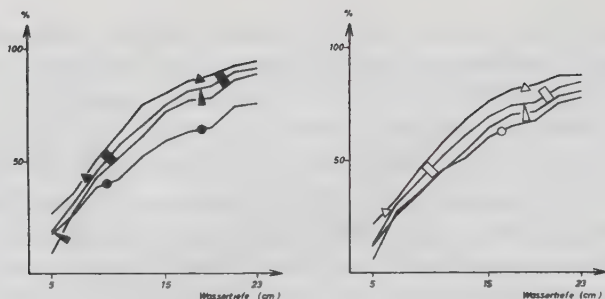


Abb. 24-26 : Relation des Minimums der Impulsausbeute zu ihrem Maximum bei Verschieben einer Punktquelle durch die gesamte Wasserschicht in Abhängigkeit von der Schichtdicke in verschiedenen Energiebereichen

a) Quelle stationär b) Quelle gescannt

Abb. 24 : ^{57}Co

Bedeutung der Symbole :

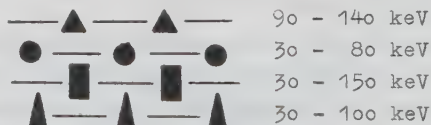


Abb. 25 : ^{51}Cr

Bedeutung der Symbole :

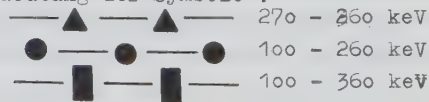
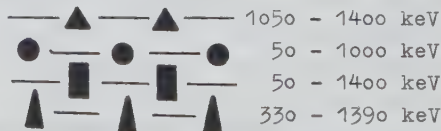


Abb. 26 : ^{59}Fe

Bedeutung der Symbole :



Der Koordinatenanfangspunkt stimmt nicht mit dem Nullpunkt überein.

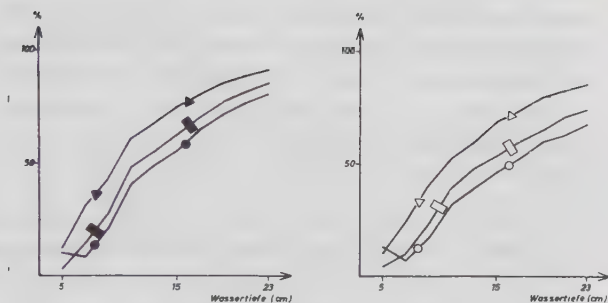


Abbildung 25

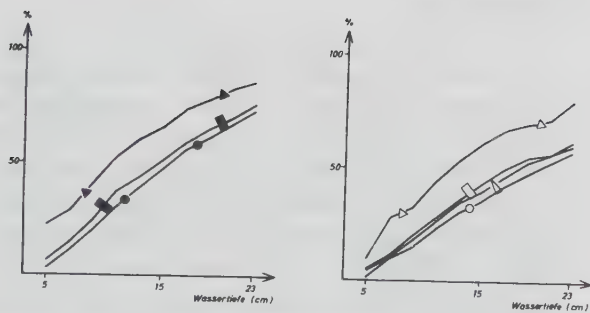


Abbildung 26

stehen für das arithmetische Mittel, leere Symbole für das geometrische Mittel. Die gestrichelten Kästchen in Abbildung 28 stellen den Mittelwert der Gesamtzählrate gebildet aus dem arithmetischen Mittel im Comptonbereich und dem geometrischen Mittel im Photopeakbereich dar. Die Kreuze in Abbildung 29 symbolisieren die Ergebnisse für den Meßbereich 1250 - 1400 keV.

In allen 6 Abbildungen wird deutlich, daß die relative Differenz der arithmetischen Mittel im Photopeakbereich mit zunehmender Wassertiefe sehr stark zunimmt. Die Differenz ist geringer, wenn die Quelle gescannt wird. Wird das geometrische Mittel im Photopeakbereich gebildet, so wird die Differenz der extremen Werte kleiner.

Wird das geometrische Mittel im Comptonbereich gebildet, so wird die relative Abweichung der so ermittelten extremen Impulszahlen größer als bei Bildung des arithmetischen Mittels. Zwischen der stehend gemessenen Quelle und der gescannten besteht kein großer Unterschied.

Die Differenzen im Gesamtmeßbereich verhalten sich unterschiedlich. Bei kleinen Wassertiefen liefert das arithmetische Mittel einheitlichere Werte als das geometrische Mittel, während sich mit zunehmender Wassertiefe das Verhältnis umkehrt. Die aus der Summe von arithmetischem und geometrischem Mittel errechneten Kurven liegen im Wesentlichen zwischen den eben genannten.

Insgesamt gesehen sind die Differenzen bei ^{59}Fe geringer als bei den beiden anderen Radionukliden, zwischen denen kein großer Unterschied besteht. Für ^{57}Co und ^{51}Cr liefern bei niedrigen Wassertiefen die arithmetischen Mittel der Gesamtimpulszahl die einheitlichsten Werte, während für größere Wassertiefen die geometrischen

Mittel der Impulse im Photopeakbereich die geringsten prozentualen Differenzen zeigen. Für ^{59}Fe liegen beide Kurven sehr viel enger zusammen, wobei im Durchschnitt die relativen Differenzen der geometrischen Mittel der Photopeakimpulse geringer sind.

Abb. 27-30 : Relation des Minimums der Aktivitätsausbeute zu ihrem Maximum für Mittelwerte korrespondierender Meßergebnisse (jeweils gleicher Abstand von der Schichtmitte) einer Punktquelle durch die gesamte Wasserschicht in Abhängigkeit zur Schichtdicke in verschiedenen Energiebereichen.

a) Quelle stationär b) Quelle gescannt

Abb. 27 : ^{57}Co , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 24

Abb. 28 : ^{51}Cr , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 25

Abb. 29 : ^{59}Fe , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 26

leere Symbole : geometrisches Mittel

ausgefüllte Symbole : arithmetisches Mittel

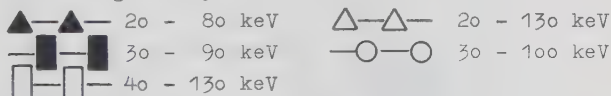
gestrichelte Kästchen in Abb. 28 : Mittelwert

gebildet aus arithmetischem Mittel im Comptonbereich und geometrischem Mittel im Photo-

peakbereich

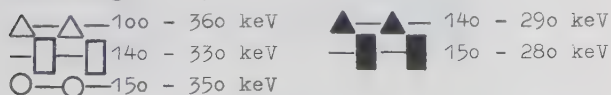
Abb. 30 : a) ^{57}Co - Quelle, gescannt

Bedeutung der Symbole :



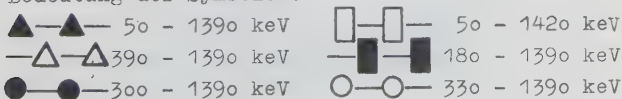
b) ^{51}Cr - Quelle, gescannt

Bedeutung der Symbole :



c) ^{59}Fe - Quelle, gescannt

Bedeutung der Symbole :



Der Koordinatenanfangspunkt entspricht nicht dem Nullpunkt.

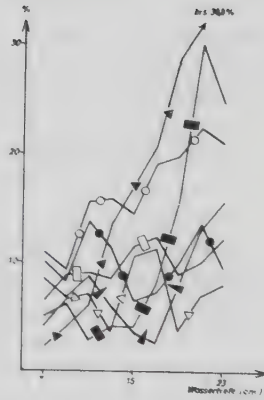
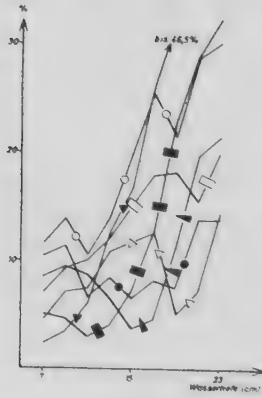


Abbildung 27 a

b

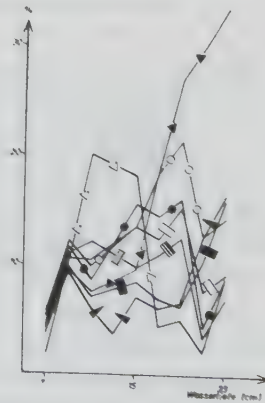


Abbildung 28 a

b

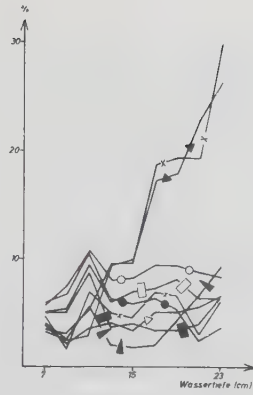
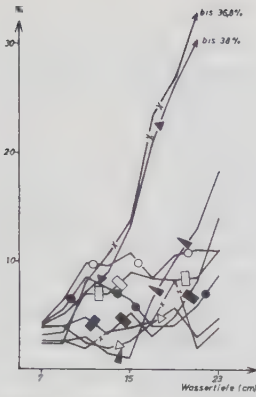
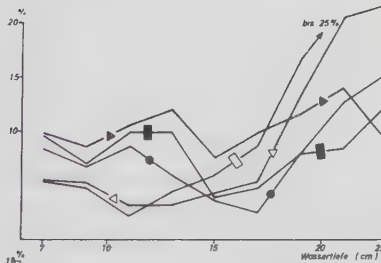


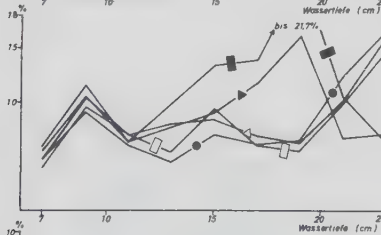
Abbildung 29 a

b

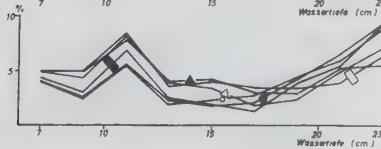
Abbildung
30 a



b



c



d) Aus Abbildung 30 geht der Meßbereich hervor, in dem die relative Abweichung der extremen Zählraten nach Bildung des arithmetischen Mittels aus korrespondierenden Spektren am geringsten ist.

Jeder der angegebenen Energiebereiche ist für mindestens ein Wasservolumen der im Sinne der Fragestellung günstigste Meßbereich. Aus den Zeichnungen wird jeweils die Kurve herausgesucht, die bei allen Wassertiefen möglichst niedrig liegt. Da die ermittelten Energiebereiche bei Messungen am Menschen angewandt werden sollen, wird bei starken Schwankungen der Kurven die ausgewählt, die bei niedrigen Wassertiefen am geeignetsten ist.

Es ergeben sich folgende Meßbereiche :

^{57}Co 30 - 100 keV

^{51}Cr 150 - 350 keV

^{59}Fe 300 - 1390 keV

e) In den Abbildungen 31 für ^{57}Co , 32 für ^{51}Cr und 33 für ^{59}Fe sind die Impulszahlen aufgezeichnet, die man erhält, wenn ein zylindrisches Gefäß mit Flüssigkeit von konstanter spezifischer Konzentration gefüllt wird. die Symbole haben dieselbe Bedeutung wie unter b. Ausgefüllte Symbole stehen für die stehend gemessene Quelle, leere Symbole für die gescannte Quelle. Die Kreuze in Abbildung 33 b gelten für Photopeak₂.

Abb. 31-33 : Summe der Impulsausbeute in Abhängigkeit von der Schichtdicke bei Messung einer durch die gesamte Schichtdicke verschobenen Punktquelle.

Abb. 31 : ^{57}Co , Bedeutung der Symbole siehe Abbildung 24

Abb. 32 : ^{51}Cr , Bedeutung der Symbole siehe Abbildung 25

Abb. 33 : ^{59}Fe , Bedeutung der Symbole siehe Abbildung 26

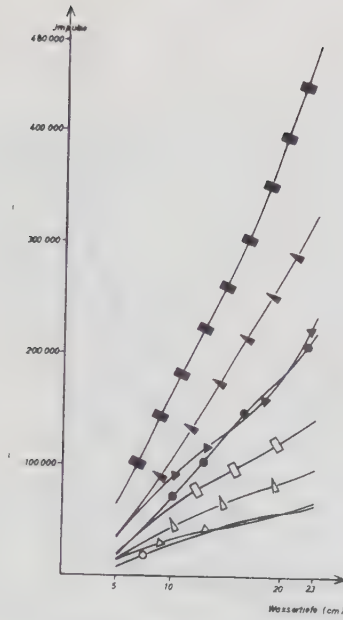


Abbildung 31

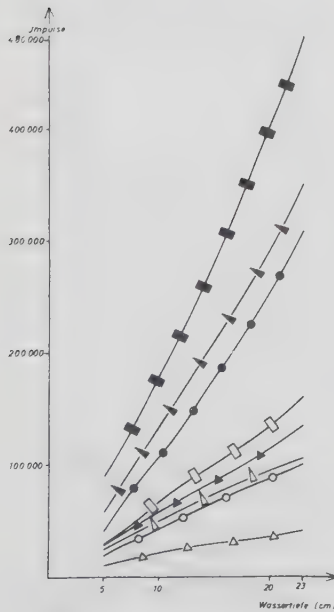


Abbildung 32

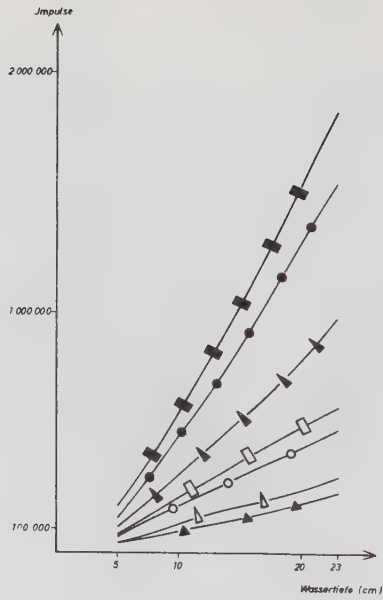


Abbildung 33 a

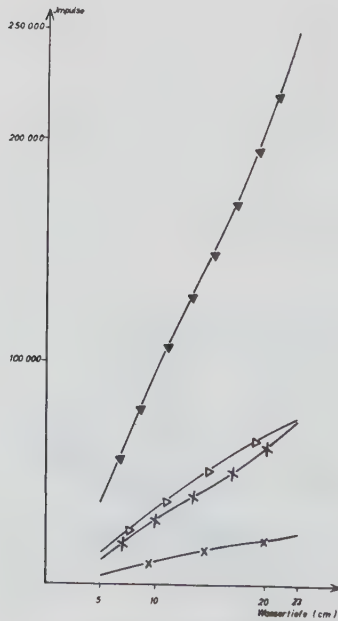


Abbildung 33 b

f) Die in den einzelnen Wassertiefen durchschnittlich ermittelten Impulszahlen sind in den Abbildungen 34 für ^{57}Co , 35 für ^{51}Cr und 36 für ^{59}Fe dargestellt. Bedeutung der Symbole wie oben.

Die nachfolgende Tabelle enthält die relative Differenz der extremen Werte, wobei die höhere Impulszahl gleich 100 % gesetzt ist.

	^{57}Co		^{51}Cr		^{59}Fe	
	steh.	gesc.	steh.	gesc.	steh.	gesc.
Photopeak	14,4%	31 %	16,5%	30,9%	5,5%	26 %
Compton	35,8%	18,5%	26,1%	8,2%	9,7%	10 %
Gesamtzählrate	8,5%	18,5%	16 %	16 %	24,2%	6,6 %
30 - 100 keV	26,5%	10,5%				
150 - 350 keV			10,5%	17 %		
300 - 1390keV					16,6%	9,6 %

Aus den Abbildungen und der Tabelle geht hervor, daß die Steigungen der Kurven abnehmen, wenn die Quelle gescannt wird.

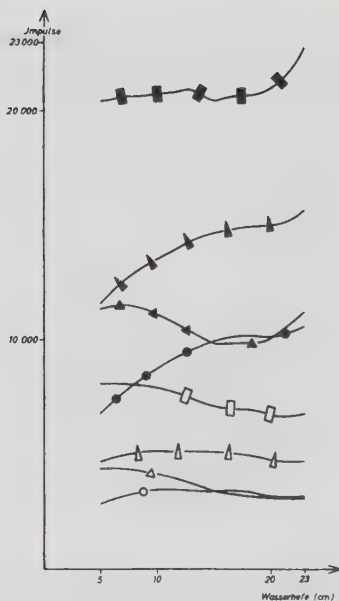


Abb. 34-36 : Abhängigkeit der mittleren Impulsausbeute einer durch die gesamte Wasserschicht verschobenen Punktquelle von der Schichtdicke

Abb. 34 : ^{57}Co , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 24

Abb. 35 : ^{51}Cr , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 25

Abb. 36 : ^{59}Fe , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 26

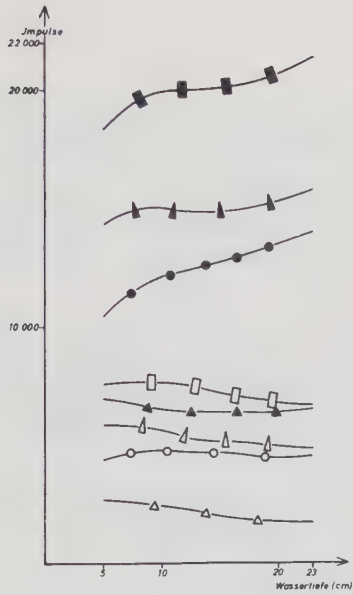


Abbildung 35

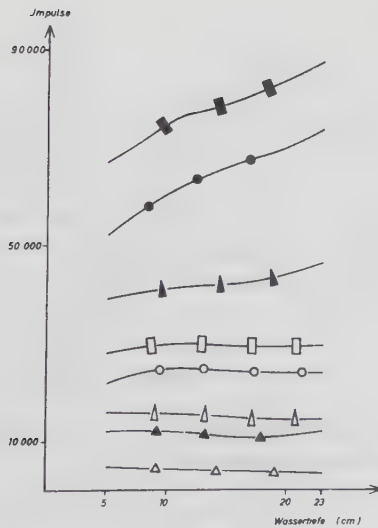


Abbildung 36

3) Direkte und indirekte Bestimmung der effektiven
Zählzeit in Abhängigkeit vom Abstand Quelle - Kristall

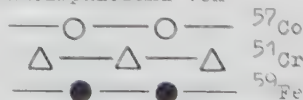
a) Die Abbildungen 37 für ^{57}Co , 38 für ^{51}Cr und 39
für ^{59}Fe stellen die effektive Zählzeit in Abhängigkeit
vom Abstand der Quelle vom Kristall dar. Bedeutung der
Symbole wie oben.

Mit zunehmender Entfernung vom Kristall nimmt die
effektive Zählzeit zu. Es wird weiterhin sichtbar, daß
für alle drei Radionuklide die effektive Zählzeit im
Comptonbereich am größten und im Photopeakbereich am
kleinsten ist.

In Abbildung 40 ist noch einmal die effektive Zähl-
zeit der Gesamtimpulszahl für alle drei Radionuklide
wiedergegeben.

Aus der Zeichnung geht hervor, daß die effektive Zähl-
zeit mit zunehmender Energie der emittierten Strahlung
zunimmt.

Abb. 37-40 : Abhängigkeit der effektiven Zählzeit des
Weitwinkerkollimators vom Abstand einer Punktquelle
vom Kristall für verschiedene Energiebereiche
Abb. 37 : ^{57}Co , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 24
Abb. 38 : ^{51}Cr , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 25
Abb. 39 : ^{59}Fe , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 26
Abb. 40 : Gesamtimpulszahl von



Der Koordinatenanfangspunkt stimmt nicht mit dem
Nullpunkt überein.



Abbildung 37

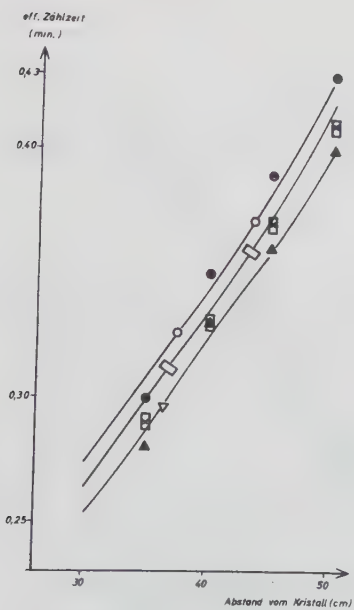


Abbildung 38

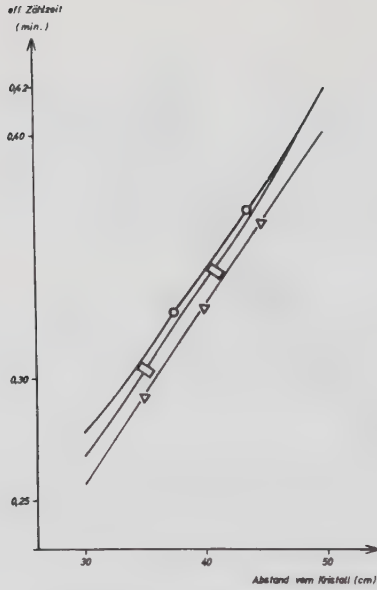


Abbildung 39

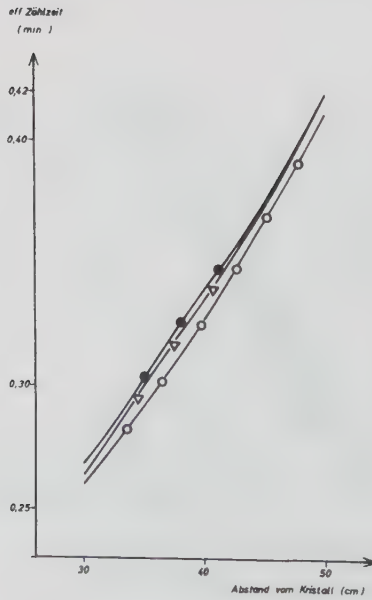


Abbildung 40

b) Die Profile zur direkten Bestimmung der effektiven Zählzeit von ^{51}Cr sind in den 3 folgenden Abbildungen aufgezeichnet.

Die nach diesen Zeichnungen ermittelten Zeiten sind in Abbildung 38 als Kreuze eingetragen.

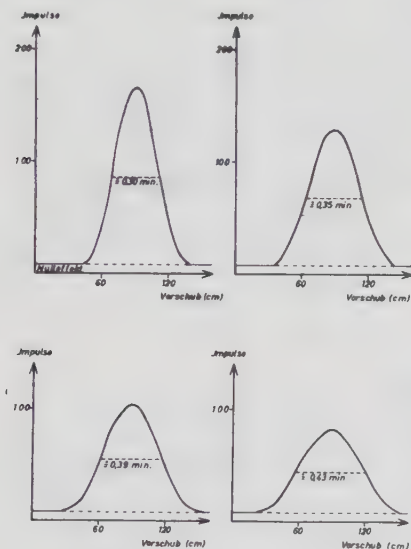


Abb. 41-43 : Profile der Impulsausbeute zur direkten Bestimmung der effektiven Zählzeit von ^{51}Cr

- a) Entfernung Quelle - Kristall = 35 cm
- b) Entfernung Quelle - Kristall = 40 cm
- c) Entfernung Quelle - Kristall = 45 cm
- d) Entfernung Quelle - Kristall = 50 cm

Abb. 41 : Meßbereich 100 - 260 keV

Abb. 42 : Meßbereich 270 - 360 keV

Abb. 43 : Meßbereich 100 - 360 keV

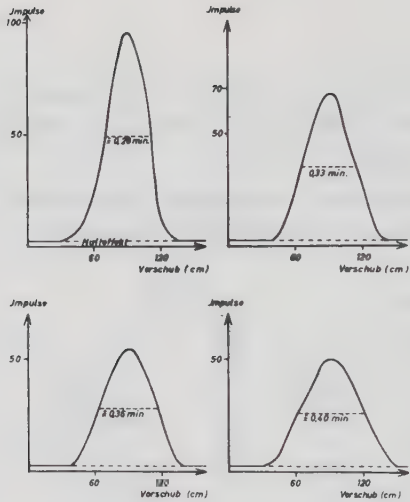


Abbildung 42

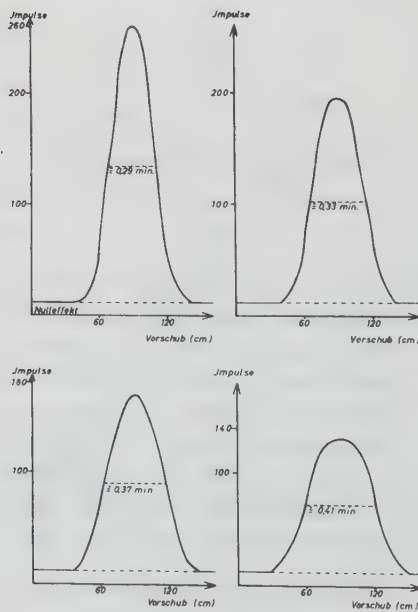


Abbildung 43

4) Abhängigkeit der Meßausbeute von der Randlage der Quelle im Phantom

a) Einfluß durch Abnahme des Streumediums bei ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{59}Fe .

In den Abbildungen 44 für ^{57}Co , 45 für ^{51}Cr und 46 für ^{59}Fe wird die Abhängigkeit der Impulszahl vom Abstand der Quelle vom Rand des Phantoms dargestellt. Bedeutung der Symbole wie unter 2b. Um die wesentlichen Ergebnisse in Abbildung 46 besser darstellen zu können, ist der Ordinatenanfangspunkt so gewählt, daß Nulleffekt und Photopeakimpulse nicht eingezeichnet werden können.

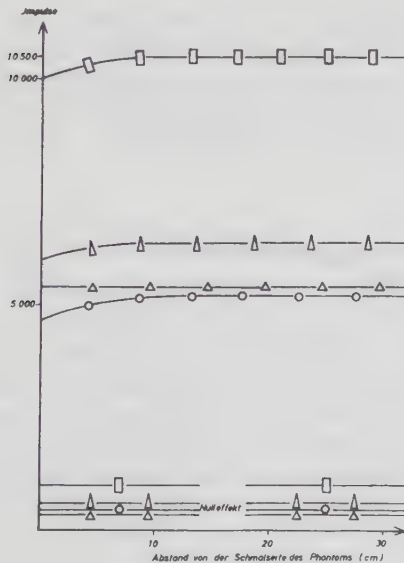


Abb. 44-46 : Impulsausbeute in Abhängigkeit vom Abstand einer Punktquelle vom Rand eines Wasserphantoms für verschiedene Energiebereiche

Abb. 44 : ^{57}Co , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 24

Abb. 45 : ^{51}Cr , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 25

Abb. 46 : ^{59}Fe , Bedeutung der Symbole siehe Abb. 26

Der Koordinatenanfangspunkt entspricht nicht dem Nullpunkt.

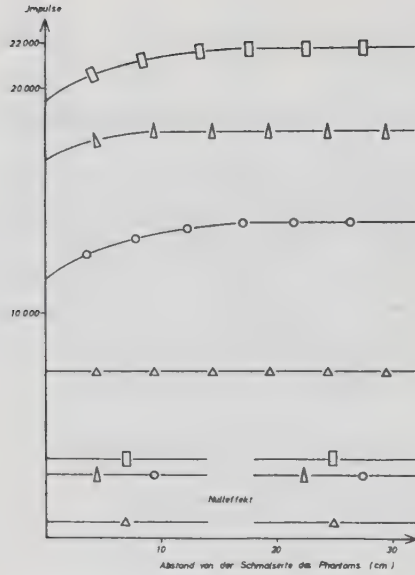


Abbildung 45

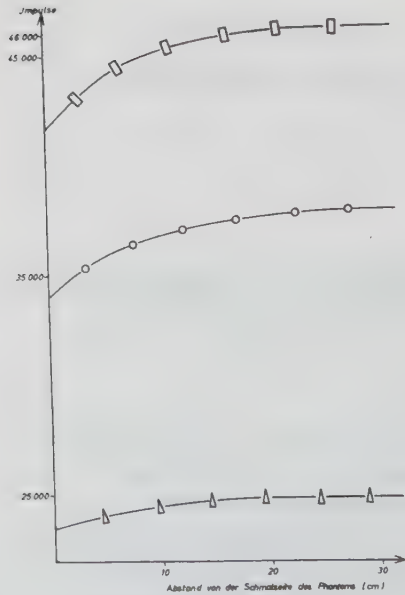


Abbildung 46

Die folgende Tabelle enthält die relative Differenz der extremen Impulszahlen.

	^{57}Co	^{51}Cr	^{59}Fe
Photopeak	-	-	-
Compton	12,5 %	22,3 %	22,5 %
Gesamtzählrate	5,5 %	12,6 %	14,4 %
30 - 100 keV	7 %		
150 - 350 keV		6,9 %	
300 - 1390 keV			5,6 %

Im Photopeakbereich wird die Meßausbeute durch die Randlage der Quelle nicht verändert. Die größten relativen Differenzen ergeben sich im Comptonbereich. Für ^{51}Cr und ^{59}Fe wird bei den unter 2d errechneten Meßbereichen die Differenz deutlich geringer als im Compton- und Gesamtmeßbereich. Während die Differenzen bei ^{51}Cr und ^{59}Fe etwa gleich groß sind, sind sie bei ^{57}Co wesentlich kleiner.

b) Einfluß der Endstellung der Liege

Der Meßfehler, der dadurch entsteht, daß sich eine Quelle am Liegenden nach Durchlaufen der Scanstrecke noch im Gesichtsfeld des Kristalls befindet, ist in Abbildung 47 dargestellt. Bedeutung der Symbole wie unter 2b. Bereits etwa 50 cm vom Liegenden entfernt macht sich dieser Fehler bemerkbar. Er ist im Comptonbereich am größten und im Photopeakbereich am geringsten.

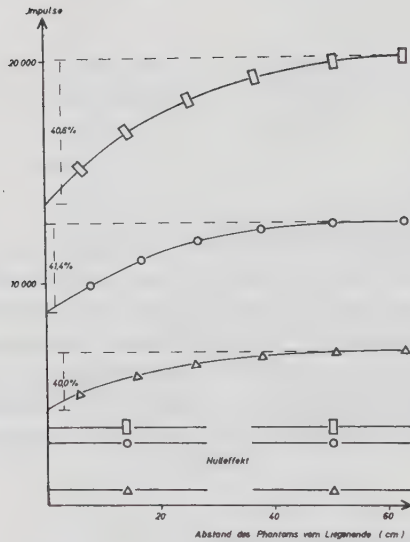


Abb. 47 : Abhängigkeit der Impulsausbeute beim Scanning einer ^{51}Cr - Punktquelle im Wasserphantom (6 cm Eintauchtiefe) von ihrem Abstand zum Liegende. Zusätzlich am linken Bildrand größte relative Differenz zwischen minimalem und maximalem Meßergebnis. Bedeutung der Symbole siehe Abb. 25.

C) Wirkungsgrad

Die folgende Tabelle enthält den Zahlenwert des Quotienten S^2/B , wenn man den Wert im Photopeakbereich gleich 1 setzt.

	^{57}Co	^{51}Cr	^{59}Fe
Photopeak	1	1	1 Photopeak ₂ 2,66 Photo- peak ₁₊₂
Compton	1,76	2,5	9,45
Gesamtzählrate	2,64	3,81	11,7
30 - 100 keV	2,44		
150 - 350 keV		3,17	
300 - 1390 keV			7,31

Diskussion

A) Kollimatorcharakteristik

Soll eine Strahlenquelle in der Längsrichtung des Körpers möglichst genau lokalisiert werden, so wird man mit dem fokussierenden Schlitzkollimator arbeiten und den Patienten so dicht wie möglich an den Kollimator heranbringen, da so die Trennschärfe am größten ist. Es ist wichtig, den Patienten dabei gut zu fixieren, da unter den gegebenen Bedingungen schon geringe Lageveränderungen das Ergebnis verfälschen können.

Zur Tiefenbestimmung der Quelle kann die Veränderung der Halbwertsbreite bei unterschiedlichem Abstand Patient - Kollimator herangezogen werden. Da aber die Brennebene des Schlitzkollimators nur 7 cm von der Unterfläche des Weitwinkelkollimators entfernt ist, wird es häufig nicht möglich sein, die Lage der Quelle durch Bestimmung der minimalen Halbwertsbreite zu ermitteln. Einen Anhaltspunkt über die Tiefe der Quelle erhält man, wenn man den Patienten in Bauch- und Rückenlage scannt und die Veränderung der Meßausbeute betrachtet.

Für Bilanzuntersuchungen ist der Weitwinkelkollimator geeigneter. Die Distanz Patient - Kollimator sollte so groß wie möglich gewählt werden, um die Differenzen in der Meßausbeute durch unterschiedliche Verteilung des Isotops im Organismus möglichst gering zu halten. Aus den Versuchsergebnissen geht, analog zu den Angaben von Dudley, ben Haim (2) und Johnston, Brill (3) hervor, daß geometrische Effekte mit zunehmender Patient - Kristall Entfernung abnehmen.

B) Geometrie

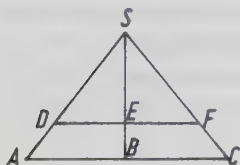
1) Bei der gewählten Versuchsanordnung ist zu erwarten, daß mit zunehmender Wassertiefe die Meßausbeute

entsprechend der Selbstabsorption des Streukörpers exponentiell abfällt. Für den Photopeakbereich ist dies auch annähernd der Fall. Im Comptonmeßbereich wird dieser Effekt dadurch abgemildert, daß mit zunehmender Streumasse die Zahl der entstehenden Streustrahlen zunimmt. Die Steigungen der beiden anderen Kurven liegen entsprechend den dargestellten Energiebereichen zwischen diesen beiden Extremen.

a) Im Photopeakbereich steigt die Impulsausbeute bei abnehmender Eintauchtiefe entsprechend der abnehmenden Selbstabsorption und dem umgekehrten quadratischen Abstandsgesetz an. Im Comptonbereich muß noch beachtet werden, daß mit abnehmender Dicke des Streukörpers über dem Präparat weniger vom Gerät registrierte Streustrahlung entsteht. Dies wird besonders in den Randschichten deutlich.

b) Die Strahlung im Comptonbereich entsteht durch Wechselwirkung der von der radioaktiven Quelle emittierten Photonen mit dem umgebenden Streukörper. Daraus ergibt sich, daß der Bereich, in dem die Comptonstrahlung ihren Ursprung hat, größer ist als die verwendete Quelle, worauf auch Johnston, Brill (3) hinwiesen. Damit spielt der Abstand Quelle - Kristall für die Meßausbeute im Comptonbereich eine geringere Rolle als im Photopeakbereich, so daß die relative Differenz der gezählten Impulse im Comptonbereich kleiner ist als im Photopeakbereich.

Wird eine Quelle im Gesichtsfeld eines Weitwinkelkollimators gescannt, so nimmt nach Oliver, Warner (9) deren Zählrate bei Annäherung an den Kristall linear zu, wie aus Abbildung 48 hervorgeht.



Die Impulszahl im Punkt E verhält sich zu der im Punkt B wie SB^2/SE^2 . Wird die Quelle zunächst in der Ebene AC und anschließend in der Ebene DF gescannt, so nimmt die Zählzeit

nach SE/SB ab, so daß eine effektive Zunahme der Impulszahl von SB/SE resultiert. Daraus erklärt sich, daß die relative Differenz der extremen Impulszahlen abnimmt, wenn die Quelle gescannt wird.

Mit zunehmender Emissionsenergie nimmt die Halbwertschichtdicke zu, so daß bei wachsendem Abstand der Quelle vom Boden die Zunahme der Impulszahl auf Grund der abnehmenden Selbstabsorption geringer wird.

c) Der starke Anstieg der relativen Differenz nach Bildung des arithmetischen Mittels im Photopeakbereich ist vor allem auf die Zunahme der Impulsausbeute in der dem Kristall am nächsten liegenden Schicht zurückzuführen. Diese Zählrate nimmt mit dem Quadrat der Annäherung an den Kristall zu. Daraus erklärt sich, daß die Werte bei Bildung des geometrischen Mittels einheitlicher werden worauf auch Kakehi, Saegusa (4) hinwiesen. Die geringere Differenz bei gescannter Quelle erklärt sich aus dem unter 2b Ausgeführten.

Der Verlauf der Kurven im Comptonbereich wird dadurch verständlich, daß der Abstand von Quelle und Kristall keine so wesentliche Rolle spielt.

Während nach Bildung des arithmetischen Mittels im Photopeakbereich die höchste Zählrate in der Randschicht liegt, findet man im Comptonbereich die niedrigste Zählrate in dieser Schicht was mit Ergebnissen von Navesten, Liden, Stahlberg, Norden (8) übereinstimmt. Deshalb liefert bei niedrigen Wassertiefen das arithmetische Mittel der Gesamtimpulszahl die niedrigsten Differenzen. Bei größeren Wassertiefen wird die Zunahme des Photopeakanteils so groß, daß sie durch die Abnahme des Comptonanteils nicht mehr kompensiert werden kann. Daraus erklärt sich auch der Kurvenverlauf bei Bildung des geometrischen Mittels. Die aus geometrischem und arithmetischem Mittel zusammengesetzten Werte bringen außer

bei den großen Wassertiefen keine Verbesserung gegenüber dem arithmetischen Mittel, da gerade durch den jeweils günstigsten Mittelwert die regulative Wirkung, die Photopeak- und Comptonmeßwerte aufeinander ausüben, abgeschwächt wird.

Sämtliche Angaben in der Literatur stimmen dahingehend überein, daß Aktivitätsmessungen im Photopeakbereich am stärksten geometrieabhängig sind, was durch die eigenen Untersuchungen bestätigt wird. Lediglich bei der Frage, ob der Compton- oder der full-spektrum Bereich einheitlichere Werte liefert sind die Meinungen geteilt. Während Rundo (11) bei Messungen der gleichen Cs¹³⁷-Quelle in 3 verschiedenen Versuchsanordnungen mit unterschiedlicher Geometrie die größte Übereinstimmung im Gesamtmeßbereich fand, erhielten Palmer, Cook, Pailthorp, Finch (10) bei Messung einer Fe⁵⁵-Quelle in der Mitte und in einer Ecke des Delrin-Phantoms die einheitlichen Werte im Comptonmeßbereich. Bei den eigenen Versuchen wurde immer wieder deutlich, daß zumindest bei dem hier benutzten Ganzkörperzähler die Zählrate im Gesamtmeßbereich weniger geometrieabhängig ist als im Comptonmeßbereich. Vielleicht ist das abweichende Ergebnis von Palmer und Mitarbeitern darauf zurückzuführen, daß bei einer Anordnung von je 2 stationären Kristallen an den Enden der Meßstrecke der Abstand der Quelle von den Kristallen, der ja besonders für das Meßergebnis im Photopeakbereich und damit auch im Gesamtmeßbereich bedeutsam ist, eine größere Rolle spielt als bei der in dieser Arbeit beschriebenen Versuchsanordnung.

d) Da aus den vorhergehenden Überlegungen hervorgeht, daß die einheitlichen Meßergebnisse im Gesamtmeßbereich durch die regulative Wirkung, die Photopeak- und Comptonmeßwerte aufeinander ausüben, zustande kommen, liegt es nahe, einen Energiebereich herauszufinden, in dem sich die entgegengesetzten Eigenschaften der Photopeak- und Comptonmeßwerte möglichst kompensieren. Soweit ich

die bisher nur spärlich erschienene Literatur zum Thema "Meßgeometrie bei Ganzkörperzählern" durchgesehen habe, wurde bisher kein entsprechender Versuch unternommen. Für kleinere Wassertiefen erhält man die einheitlichsten Werte, wenn man das Fenster so einstellt, daß einem möglichst großen Anteil von Photopeakstrahlen ein relativ kleiner Anteil Comptonstrahlen gegenübersteht, während sich bei größeren Wassertiefen dieses Verhältnis umkehrt. In den ausgewählten Meßbereichen ist der Comptonpeak nicht enthalten.

Zu ^{57}Co ist noch zu bemerken, daß wegen der niedrigen Emissionsenergie und den Gesetzmäßigkeiten der Comptonstreuung die Comptonstreuanteile und der Photopeak relativ nahe beieinander liegen. Deshalb und auf Grund des begrenzten spektralen Auflösungsvermögens eines NaJ-Szintillationszählers sind in einem weiten Energiebereich Compton und Photopeakstrahlen nicht zu trennen.

Aus den Abbildungen 27 bis 29 geht hervor, daß die ausgewählten Energiebereiche nur für die gescannte Quelle relativ einheitliche Werte liefern, während aus dem Kurvenverlauf bei stehend gemessener Quelle zu schließen ist, daß hierfür der Photopeakanteil zu groß ist, was sich wiederum aus dem unter 2b Gesagten ergibt.

e,f) Spielten bei Messung radioaktiver Quellen Geometrie und Selbstabsorption keine Rolle, so stände zu erwarten, daß die Kurven in Abbildung 31 bis 33 konstante Steigung hätten. Das bedeutete, daß für alle Wasservolumina die durchschnittliche Impulszahl die Gleiche ist. Somit geben die Zeichnungen 34 bis 36 die Abweichungen der Kurven aus den drei vorhergehenden Abbildungen von der Geraden wider.

Bei stehend gemessener Quelle fällt die durchschnittliche Impulszahl im Photopeakbereich zunächst ab, damit zunehmender Absorptions- und Streumasse die Meßaus-

beute aus den tiefen Schichten abnimmt; dann steigt die durchschnittliche Impulszahl wieder an, weil der Abfall der Zählrate in den unteren Schichten durch die starke Zunahme in den oberen bei Annäherung an den Kristall überkompensiert wird.

Im Comptonbereich steigt die durchschnittliche Impulszahl an, da mit Zunahme des Wasservolumens mehr Streustrahlung entsteht.

Die Steigungen der Kurven für die Gesamtzählraten und die unter 2d bestimmten Meßbereiche liegen erwartungsgemäß zwischen diesen beiden Extremen.

Die Abnahme der Kurvensteigungen bei gescannter Quelle wird daraus verständlich, daß durch Scannen die Abhängigkeit der Meßausbeute vom Abstand Quelle - Kristall linear wird, wie unter 2b ausgeführt. Damit spielt die zunehmende Selbstabsorption bei steigender Wassertiefe eine größere Rolle.

Bei allen drei Radionukliden ergeben sich für die stehend gemessene Quelle die größten Differenzen im Comptonmeßbereich und für die gescannte Quelle im Photopeakmeßbereich. Welcher Meßbereich die geringsten Differenzen zeigt, hängt jeweils davon ab, wie die Gesamtzählrate und die unter 2d ermittelten Energiebereiche aus Compton- und Photopeakstrahlung zusammengesetzt sind.

3) Effektive Zählzeit

Wie schon unter 2b ausgeführt, nimmt die effektive Zählzeit mit zunehmendem Abstand vom Kristall linear zu. Die Abweichung von der Geraden kann durch die Versuchsanordnung erklärt werden. Beim Scannen des Wasserphantoms entstehen auf dessen Oberfläche Wellen, die besonders bei der geringen Halbwertsschichtdicke von ^{57}Co das Ergebnis beeinflussen können.

Die Differenz in der effektiven Zählzeit zwischen

Photopeak- und Comptonbereich wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß die Streustrahlung von einem größeren Bereich ausgeht als die Photopeakstrahlung, worauf besonders Johnston, Brill (3) hinweisen. Photopeakimpulse können nur so lange registriert werden, wie die Quelle sich im Gesichtsfeld des Kristalls befindet, während gestreute Photonen auch danach noch auf den Kristall treffen können.

Daraus erklärt sich auch, daß die effektive Zählzeit mit zunehmender Halbwertsschichtdicke zunimmt.

4) Endfehler

a) In den Abbildungen 44 bis 46 wird besonders deutlich, welche Bedeutung die Streumasse für die Comptonstrahlung hat. Für ^{51}Cr und ^{59}Fe sind die relativen Differenzen der extremen Zählraten im Comptonmeßbereich etwa gleich. Bei ^{57}Co muß beachtet werden, daß wegen der geringen Trennschärfe im Comptonmeßbereich noch Photopeakimpulse registriert werden, so daß die Differenz wesentlich kleiner als bei ^{51}Cr und ^{59}Fe ist.

Bei ^{59}Fe und ^{51}Cr unterscheiden sich die unter 2d bestimmten Energiebereiche im Wesentlichen dadurch von der Gesamtzählrate, daß sie weniger Streustrahlung enthalten. Damit muß die relative Differenz der extremen Impulszahlen geringer sein als im Gesamtmeßbereich. Der Energiebereich 30 - 100 keV für ^{57}Co schließt weniger Photopeakstrahlung ein als der Gesamtmeßbereich, so daß die Differenz im Vergleich zu diesem größer wird.

Die Entfernung der Quelle vom Phantomende, in welcher der Endfehler meßbar wird, nimmt mit zunehmender Photoenergie zu, da mit zunehmender Halbwertsschichtdicke die Wahrscheinlichkeit zunimmt, mit der noch solche Strahlen den Kristall erreichen, die erst in einem größeren Abstand von der Quelle gebeugt werden.

b) Wegen des relativ großen Meßfehlers bei Aktivitätskonzentrationen am Liegende muß darauf geachtet werden, daß bei mehreren Messungen der Abstand Quelle - Liegende immer gleich ist. Der Endfehler muß besonders dann berücksichtigt werden, wenn zu erwarten ist, daß sich ein Isotop in einem Organ nahe dem Körperende konzentriert, wie etwa ^{131}J .

Im Comptonmeßbereich macht sich der Fehler etwas stärker bemerkbar, da wegen der Bedeutung der Streumasse für die Meßausbeute die Halbwertsbreite der gescannten Profile im Comptonmeßbereich größer ist als im Photopeakbereich, so daß sich ein vorzeitiges Beenden des Meßvorgangs stärker auf die Impulszahl auswirkt.

Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Meßgeometrie des vorliegenden shadow - shield - Ganzkörperzählers wurden Versuche mit Streu- und Absorptionsphantomen für die Radionuklide ^{57}Co , ^{51}Cr und ^{59}Fe durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zunächst in den Photopeak-, Compton- und Gesamtmeßbereichen ausgewertet.

Der wesentlichste Gesichtspunkt bei der Auswertung der Untersuchungen war es, die Differenzen in der Meßausbeute bei unterschiedlicher Verteilung des Radionuklids im Meßobjekt möglichst gering zu halten.

Bei allen Versuchen wurde deutlich, daß für Messungen im Photopeakbereich der Abstand Quelle - Kristall eine größere Rolle spielt als im Comptonmeßbereich, bei dem ein Teil des umgebenden Streukörpers effektiv zu einer größeren Ausdehnung der Quelle führt. Das wird besonders in dem relativ großen Fehler deutlich, der entsteht, wenn die Quelle sich dem Rand des Phantoms nähert. Je größer die Halbwertsschichtdicke des entsprechenden Radionuklids ist, umso eher macht sich dieser Endfehler bemerkbar.

Befindet sich das Phantom am Liegendenende, so tritt durch die Endstellung der Liege nach Durchlaufen der Scanstrecke ein zusätzlicher Fehler von bis zu etwa 40 % auf.

Es wurde außerdem die Zeit bestimmt, während der die Quelle effektiv gezählt wird, wenn sie die Scanstrecke durchläuft. Diese effektive Zählzeit nimmt bei gegebener Kollimation mit zunehmender Entfernung vom Kristall zu und ist im Comptonbereich größer als im Photopeakbereich. Die Zunahme der effektiven Zählzeit bei zunehmendem Abstand Quelle - Kristall führt dazu, daß die Zählraten einer Quelle, die in unterschiedlichen Abständen vom Kristall gescannt wird, sich umgekehrt li-

near zum Abstand Quelle - Kristall verhalten. Besonders macht sich dies in der Tatsache bemerkbar, daß die Steigungen der Kurven, die die Abhängigkeit der Impulszahl von der Tiefe der Quelle im Streu- und Absorptionskörper darstellen, geringer werden, wenn die Quelle gescannt wird.

Überträgt man das Ergebnis der Phantomuntersuchungen auf die Messung von Patienten, werden die einheitlichsten Werte erhalten, wenn man den Patienten in Bauch- und Rückenlage in möglichst großer Entfernung vom Kristall scannt und aus den beiden Spektren entweder das geometrische Mittel im Photopeakbereich oder das arithmetische Mittel im Gesamtmeßbereich bildet. Gegen Messungen in Photopeakbereich spricht der niedrige Wirkungsgrad.

Das günstige Verhältnis im Gesamtmeßbereich ergibt sich daraus, daß die Abhängigkeit der registrierten Impulse von der Tiefe der Quelle im Körper im Photopeakbereich die entgegengesetzte Tendenz zu der im Comptonbereich hat. Somit lag es nahe, einen Energiebereich zu ermitteln, in dem ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Compton- und Photopeakanteil besteht. Es ergaben sich folgende Meßbereiche: für ^{57}Co : 30 - 100 keV, für ^{51}Cr : 150 - 350 keV, für ^{59}Fe : 300 - 1390 keV.

Literaturverzeichnis

1. Van Dilla, M.A., Anderson, E.C., Richmond, C.R.,
and Schuch, R.L. :
Large Organic Scintillation Detectors, in : In-
strumentation in Nuclear Medicine, by Hine, G.H.,
Volume 1, 1967
2. Dudley, R.A. and ben Haim, A. :
Comparison of Techniques for Whole - Body Counting
of Ray Emitting Nuclides with NaJ (Tl) Detectos,
in: Physics in Medicine and Biologie, April 1968
3. Johnston, G.S., Brill
Symposium on Medical Radioisotope scintigraphy
I.A.E.A., SM 108/110
4. Kakehy, H., Saegusa, K. :
Whole-Body Counting, in Japanese Nuclear Medicine
Vol. 5, 1965
5. Mehr, J.G. :
Single and Multiple detector systems for Whole
Body Counting, in : Instrumentation in Nuclear
Medicine, Volume 1, 1967
6. Miller, C.E. :
An Experimental evaluation of multiple crystal
arrays and single crystal techniques, in : Whole-
Body counting, Symposium der I.A.E.A., 1216 Juni
1961
7. Morris, A.C. :
Area scanning for quantitative measurement of
radioactivity in internal organs, in : Symposium
on medical radioisotope scintigraphy, I.A.E.A.,
SM 108/70
8. Navesten, Y., Liden, K., Stahlberg, K.G., Norden, A.:
The study of ^{58}Co Vit. B₁₂ absorption using a whole-
body counter in : Physics in Medicine and Biologie,
1969

9. Oliver, R., Warner, G.T. :
Instrumental and technical notes, in : British
Journal of radiology, 1966
10. Palmer, H.E., Cook, J.D., Pailthorp, K.G., Finch,
C.A. :
A Whole-Body Counter for Precision in Vivo
Measurements of Radio Iron in : Physics in Medicine
and Biologie, Juli 1970
11. Rundo, J. :
Some Calibration problems of whole-body counting
gamma - ray spectrometers, in : Whole-Body counting,
Symposium der I.A.E.A. 12-16 Juni 1961
12. Schneider, C., Linden, W.A.:
Ganzkörpermessung mit NaJ - Kristall, in : Strah-
lentherapie Band 133, 2 (1967)
13. Simpson, J.D., Shearman, D.J.C. :
A Whole-Body Counter for determination of the
absorption of ^{58}Co Vit. B₁₂, in : Physics in Medicine
and Biologie, Jan. 1968
14. Vetter, H., Veall, N. :
Radioisotopen-Technik in der klinischen Forschung
und Diagnostik, 1960

Gießen, den 1. Oktober 1973

Bärbel Grölz, geb. Baack

Lebenslauf

Am 7. Juli 1946 wurde ich in Kassel als erstes Kind des Reservelokführers Wilhelm Baack und dessen Ehefrau Ilse, geb. Hottenroth, geboren.

Vom 14. 4. 1953 bis 1. 4. 1957 besuchte ich die Volksschule am Lindenberg, anschließend die Carl - Schomburg - Schule (Realschule), von der ich am 29. 9. 1967 in die Jacob - Grimm - Schule überwechselte, wo ich am 16. 2. 1966 die Reifeprüfung bestand.

Am 7. 4. 1966 begann ich mein Medizinstudium an der Philipps-Universität in Marburg, wo ich am 7. 9. 1967 das Vorphysikum, am 28. 3. 1969 das Physikum und am 22. 8. 1972 das Staatsexamen ablegte.

Meine Medizinalassistentenzeit habe ich am Burgfeldkrankenhaus, Kassel und am Klinikum der Universität Gießen absolviert.

Seine Lehrer waren die Professoren :

Gerendes, Bommer, Braasch, Brück, Buchholz, Dimroth,
Exner, Friederich, Golenhofen, Graul, Hamelmann,
Hensel, Hildebrandt, Hort, Jacob, Kaffarnik, Karlson,
Koransky, Korb, Linneweh, Mann, Martini, Meyer -
Bertenrath, Multsch, Petry, Rodeck, Rohen, Schleyer,
Schmitz - Moormann, Seidel, Siegert, Straub, Voss,
Walcher.

Herrn Prof. Dr. med. H. Kuni gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Themas und seine unermüdliche Hilfe bei Bearbeitung der Fragestellung.

